

(11)Publication number : 2000-179385
(43)Date of publication of application : 27.06.2000

(21)Application number : **10-359816** (71)Applicant : **HONDA MOTOR CO LTD**
(22)Date of filing : **17.12.1998** (72)Inventor : **YASUI YUJI**
AKASAKI NAOSUKE
SATO TADASHI
UENO MASAKI
IWAKI YOSHIHISA

[illegible]

http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/result/detail/main/wAAA_TaOVdDA412179385... 2007/09/19

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3484088

[Date of registration]

17.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-179385

(P2000-179385A)

(43) 公開日 平成12年6月27日 (2000.6.27)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
F 0 2 D 41/14	3 1 0	F 0 2 D 41/14	3 1 0 L 3 G 0 8 4
			3 1 0 F 3 G 3 0 1
45/00	3 6 8	45/00	3 6 8 G 5 H 0 0 4
G 0 5 B 11/36		G 0 5 B 11/36	M 9 A 0 0 1
13/00		13/00	A

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 59 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-359816

(22) 出願日 平成10年12月17日 (1998.12.17)

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 安井 裕司

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(72) 発明者 赤崎 修介

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(74) 代理人 100077805

弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)

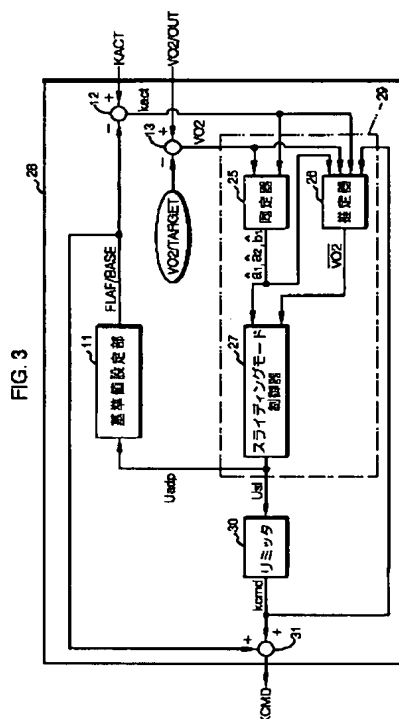
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置

(57) 【要約】

【課題】 触媒装置下流側の排ガスセンサの出力を所定の目標値に収束させるように内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比を操作する装置において、排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の速応性や精度をより高めることができる内燃機関の空燃比制御装置を提供する。

【解決手段】 触媒装置を含む排気系に与えるべき空燃比の基準値 FLAF/BASE を、触媒装置の下流側の O₂ センサの出力 VO2/OUT が目標値 VO2/TARGET に収束するように制御器 27 が適応スライディングモード制御の処理により生成する空燃比の操作量 u_{sl} の適応則に基づく成分 u_{adp} に応じて可変的に設定する基準値設定部 11 を備える。制御器 27 が生成する操作量 u_{sl} は O₂ センサの出力を目標値に収束させる上で要求される空燃比と基準値 FLAF/BASE との偏差である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】内燃機関の排気通路に設けた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した排ガス中の特定成分の濃度を検出するべく配置した第 1 排ガスセンサと、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第 1 排ガスセンサにかけての前記触媒装置を含む排気系を、前記内燃機関で燃焼させた混合気の空燃比と該空燃比に対する所定の基準値との偏差から少なくとも応答遅れを有して前記第 1 排ガスセンサの出力と該出力に対する所定の目標値との偏差を生成する系として該排気系の挙動をあらかじめモデル化しておき、その排気系のモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により前記第 1 排ガスセンサの出力を前記目標値に収束させるように前記混合気の空燃比を操作するための操作量を逐次生成する操作量生成手段と、該操作量に基づき内燃機関の動作を制御して前記混合気の空燃比を操作する機関制御手段とを備えた内燃機関の空燃比制御装置において、前記所定の基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する基準値可変設定手段を備えたことを特徴とする内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 2】前記排気系のモデルは離散系で表したモデルであることを特徴とする請求項 1 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 3】前記操作量は、前記混合気の空燃比と前記基準値との偏差の目標値であり、前記機関制御手段は、前記偏差の目標値と前記基準値とにより定まる目標空燃比に前記混合気の空燃比を操作するよう前記内燃機関の動作を制御することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 4】前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、前記第 1 排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差のデータと、前記モデルの挙動を規定する該モデルのパラメータとを用いて前記操作量を生成する処理であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 5】前記混合気の空燃比を検出するべく前記触媒装置の上流側に配置された第 2 排ガスセンサを具備し、前記モデルのパラメータを前記第 1 排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差のデータと、前記第 2 排ガスセンサの出力と前記基準値との偏差のデータとを用いて逐次同定する同定手段を備えたことを特徴とする請求項 4 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 6】前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、スライディングモード制御の制御処理であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 7】前記スライディングモード制御は適応スライディングモード制御であることを特徴とする請求項 6 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 8】前記操作量生成手段が前記適応スライディ

ングモード制御の制御処理により生成する前記操作量は、該適応スライディングモード制御の適応則に基づく適応則成分を含み、前記基準値可変設定手段は、該操作量の適応則成分の値に応じて前記基準値を可変的に設定することを特徴とする請求項 7 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 9】前記基準値可変設定手段は、前記操作量の適応則成分の値の、あらかじめ定めた所定値又は該所定値を含む該所定値の近傍範囲に対する大小関係に応じて前記基準値を増減させることにより該基準値を可変的に設定することを特徴とする請求項 8 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 10】前記基準値可変設定手段は、前記第 1 排ガスセンサの出力が安定であるか否かを逐次判断する手段を具備し、該第 1 排ガスセンサの出力が不安定であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持することを特徴とする請求項 6～9 のいずれか 1 項に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 11】前記基準値可変設定手段は、前記スライディングモード制御の制御処理に用いる切換関数の値に基づき、前記第 1 排ガスセンサの出力が安定であるか否かの判断を行うことを特徴とする請求項 10 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 12】前記基準値可変設定手段は、前記第 1 排ガスセンサの出力が前記目標値に略収束しているか否かを判断する手段を具備し、該第 1 排ガスセンサの出力が前記目標値へ未収束状態であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持することを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 項に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 13】プラントへの入力を生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第 1 検出手段と、前記プラントを、該プラントへの入力と該入力に対する所定の基準値との偏差から少なくとも応答遅れを有して前記第 1 検出手段の出力と該出力に対する所定の目標値との偏差を生成する系として該プラントの挙動をあらかじめモデル化しておき、そのプラントのモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により前記第 1 検出手段の出力を前記目標値に収束させるように前記プラントへの入力を操作するための操作量を逐次生成する操作量生成手段と、該操作量に基づき前記アクチュエータの動作を制御して前記プラントへの入力を操作するアクチュエータ制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記所定の基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する基準値可変設定手段を備えたことを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項 14】前記プラントのモデルは離散系で表したモデルであることを特徴とする請求項 13 記載のプラントの制御装置。

【請求項 15】前記操作量は、前記プラントへの入力と前記基準値との偏差の目標値であり、前記アクチュエータ制御手段は、前記偏差の目標値と前記基準値とにより定まる目標入力に前記プラントへの入力を操作するよう前記アクチュエータの動作を制御することを特徴とする請求項 13 又は 14 記載のプラントの制御装置。

【請求項 16】前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、前記第 1 検出手段の出力と前記目標値との偏差のデータと、前記モデルの挙動を規定する該モデルのパラメータとを用いて前記操作量を生成する処理であることを特徴とする請求項 13～15 のいずれか 1 項に記載のプラントの制御装置。

【請求項 17】前記プラントへの入力を検出する第 2 検出手段を具備し、前記モデルのパラメータを前記第 1 検出手段の出力と前記目標値との偏差のデータと、前記第 2 検出手段の出力と前記基準値との偏差のデータとを用いて逐次同定する同定手段を備えたことを特徴とする請求項 15 又は 16 記載のプラントの制御装置。

【請求項 18】前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、スライディングモード制御の制御処理であることを特徴とする請求項 13～17 のいずれか 1 項に記載のプラントの制御装置。

【請求項 19】前記スライディングモード制御は適応スライディングモード制御であることを特徴とする請求項 18 記載のプラントの制御装置。

【請求項 20】前記操作量生成手段が前記適応スライディングモード制御の制御処理により生成する前記操作量は、該適応スライディングモード制御の適応則に基づく適応則成分を含み、前記基準値可変設定手段は、該操作量の適応則成分の値に応じて前記基準値を可變的に設定することを特徴とする請求項 19 記載のプラントの制御装置。

【請求項 21】前記基準値可変設定手段は、前記操作量の適応則成分の値の、あらかじめ定めた所定値又は該所定値を含む該所定値の近傍範囲に対する大小関係に応じて前記基準値を増減させることにより該基準値を可變的に設定することを特徴とする請求項 20 記載のプラントの制御装置。

【請求項 22】前記基準値可変設定手段は、前記第 1 検出手段の出力が安定であるか否かを逐次判断する手段を具備し、該第 1 検出手段の出力が不安定であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持することを特徴とする請求項 18～21 のいずれか 1 項に記載のプラントの制御装置。

【請求項 23】前記基準値可変設定手段は、前記スライディングモード制御の制御処理に用いる切換関数の値に基づき、前記第 1 検出手段の出力が安定であるか否かの判断を行うことを特徴とする請求項 22 記載のプラントの制御装置。

【請求項 24】前記基準値可変設定手段は、前記第 1 検

出手段の出力が前記目標値に略収束しているか否を判断する手段を具備し、該第 1 検出手段の出力が前記目標値へ未収束状態であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持することを特徴とする請求項 13～23 のいずれか 1 項に記載のプラントの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、本願出願人は、内燃機関の排気通路に設けた三元触媒等からなる触媒装置を通過した排ガス中の特定成分の濃度を検出する排ガスセンサ、例えば酸素濃度を検出する O_2 センサを触媒装置の下流側に配置し、その O_2 センサの出力（酸素濃度の検出値）を所定の目標値に収束させるように内燃機関の空燃比（より正確には内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比。以下、同様）を操作することで、触媒装置の経時劣化等によらずに該触媒装置の所要の浄化性能を確保する技術を提案している（例えば、特願平 10-106738 号、特願平 9-251140 号等）。

【0003】この技術では、触媒装置の上流側から下流側の O_2 センサにかけての排気系の挙動をモデル化しておき、そのモデルに基づいて構築したフィードバック制御処理（具体的にはスライディングモード制御の処理）により、 O_2 センサの出力をその目標値に収束させるように内燃機関の空燃比を操作するための操作量を所定の制御サイクルで逐次生成する。そして、この操作量に基づいて内燃機関の動作を制御する（具体的には内燃機関の燃料供給量を調整する）ことで内燃機関の空燃比を操作するようにしている。

【0004】より具体的には、上記フィードバック制御処理により生成する操作量は、例えば内燃機関の実際の空燃比とこの空燃比に対する所定の基準値（一定値）との偏差（以下、ここでは偏差空燃比という）の目標値である。また、上記の技術では、内燃機関で燃焼した混合気の空燃比を検出する排ガスセンサ（以下、ここでは空燃比センサという）を触媒装置の上流側に配置する。そして、この空燃比センサの出力（空燃比の検出値）を、上記操作量（偏差空燃比の目標値）と前記基準値とにより定まる目標空燃比に収束させるようにフィードバック制御により内燃機関の燃料供給量を調整することで内燃機関の空燃比を目標空燃比に操作するようにしている。

【0005】このような内燃機関の空燃比制御によって、触媒装置の下流側の O_2 センサの出力を目標値に収束させ、ひいては触媒装置の所要の浄化性能を確保することが可能となる。

【0006】尚、上記の技術では内燃機関の空燃比を目標空燃比に操作するために、触媒装置の上流側の空燃比

センサの出力を用いたフィードバック制御を行っているが、該目標空燃比からマップ等を用いて内燃機関の燃料供給量を決定したりすることで、フィードフォワード的に空燃比を目標空燃比に操作することも可能である。

【0007】また、上記の技術では、触媒装置の下流側の排ガスセンサとして O_2 センサを用いているが、制御したい排ガス中の成分によっては、 NO_x センサ、 CO センサ、 HC センサ等、他の排ガスセンサを用い、その排ガスセンサの出力を適当な目標値に収束させるように内燃機関の空燃比を操作することで、触媒装置の所要の浄化性能を確保するようにすることも可能である。

【0008】また、上記の技術において、触媒装置の上流側から下流側の O_2 センサにかけての該触媒装置を含む排気系は、内燃機関の空燃比（前記空燃比センサにより検出する空燃比）から、 O_2 センサの出力を生成するプラントと考えられる。さらに、内燃機関は、該プラントに与える空燃比を有する排ガスを生成するアクチュエータと考えられる。このように考えたとき、上記の技術は、プラントの出力としての O_2 センサの出力を所定の目標値に収束させるようにプラントへの入力（空燃比）を操作するための操作量を生成し、その操作量に基づいてアクチュエータとしての内燃機関の動作を制御してプラントへの入力（＝アクチュエータの出力）を操作する技術として表現することができる。

【0009】ところで、上記の技術では、さらに詳細には、前記触媒装置の上流側から下流側の O_2 センサにかけての排気系をモデル化するにあたっては、該排気系を、内燃機関で燃焼した混合気の空燃比とこの空燃比に対する一定の基準値（固定値）との偏差である前記偏差空燃比から、応答遅れ等を介して O_2 センサの出力とその目標値との偏差を生成する系と見なして該排気系をモデル化している。

【0010】そして、前記偏差空燃比の目標値としての前記操作量を生成する前記フィードバック制御処理は、上記のように構成した排気系のモデルに基づいて構築している。

【0011】このようにモデル化する排気系の入力（偏差空燃比）や出力（ O_2 センサの出力とその目標値との偏差）を偏差によって表現することで、前記操作量の生成のためのフィードバック制御処理のアルゴリズムを簡易なものとすることができる。

【0012】尚、前記の技術では、さらに前記モデルの挙動を規定するパラメータを前記空燃比センサや O_2 センサの出力のデータを用いて逐次同定するようにしており、前記フィードバック制御処理では、前記操作量を生成するために、その同定されたモデルのパラメータを用いた演算を行っている。

【0013】しかるに、本願発明者等のさらなる検討によって、例えば空燃比センサの出力が該空燃比センサの劣化等に起因して本来あるべき正常な出力に対して定常

的なオフセットが生じたような状況や、内燃機関の経年的な特性変化等に起因して実際の空燃比が目標空燃比に対して定常的な誤差を生じるような状況では、前記のように構成した排気系のモデルに基づく O_2 センサの出力の目標値への制御の速応性が低下したり、 O_2 センサの出力が目標値に対して定常的な誤差を生じるというような不都合を生じることが判明した。

【0014】また、このような不都合は、任意のプラントの出力の検出値を所定の目標値に収束させるように該プラントへの入力を操作するための操作量を、前記の技術と同様に構成した該プラントのモデルに基づくフィードバック制御処理により生成し、その操作量に基づいてプラントへの入力を生成するアクチュエータの動作を制御するような場合にも生じる不都合である。

【0015】このため、このような不都合を解消することが望まれていた。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる背景に鑑みなされたものであり、触媒装置の下流側に設けた O_2 センサ等の排ガスセンサの出力を所定の目標値に収束させるように内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比を操作する装置において、排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の速応性や精度をより高めることができる内燃機関の空燃比制御装置を提供することを目的とする。

【0017】また、本発明はより一般的に、プラントの出力を検出する検出手段の出力を所定の目標値に収束させるようにプラントへの入力を操作する装置において、上記検出手段の出力の目標値への収束制御の速応性や精度を高めることができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の内燃機関の空燃比制御装置はかかる目的を達成するために、内燃機関の排気通路に設けた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した排ガス中の特定成分の濃度を検出すべく配置した第1排ガスセンサと、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第1排ガスセンサにかけての前記触媒装置を含む排気系を、前記内燃機関で燃焼させた混合気の空燃比と該空燃比に対する所定の基準値との偏差から少なくとも応答遅れを有して前記第1排ガスセンサの出力と該出力に対する所定の目標値との偏差を生成する系として該排気系の挙動をあらかじめモデル化しておき、その排気系のモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により前記第1排ガスセンサの出力を前記目標値に収束させるように前記混合気の空燃比を操作するための操作量を逐次生成する操作量生成手段と、該操作量に基づき内燃機関の動作を制御して前記混合気の空燃比を操作する機関制御手段とを備えた内燃機関の空燃比制御装置において、前記所定の基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する基準値可変設定手段

を備えたことを特徴とする（請求項 1 記載の発明）。

【0019】すなわち、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、上記の如く構成した前記排気系のモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により、前記第 1 排ガスセンサの出力を前記目標値に収束させるように前記混合気空燃比を操作するための操作量を逐次生成し、その操作量に基づき前記内燃機関の動作を制御（例えば内燃機関の燃料供給量の調整）することで内燃機関で燃焼させる混合気空燃比を操作する。

【0020】この場合、本願発明者等の各種検討によれば、上記モデルにより表した排気系の入力としての前記空燃比と所定の基準値との偏差（以下の本発明の説明では、この偏差を排気系偏差入力ということがある）に関する該基準値の値を従来のように一定値としていると、前記操作量に基づき操作する空燃比に定常的な外乱が含まれている場合等にあつては、該第 1 排ガスセンサの出力の目標値への収束の速応性が低下することがある。そして、このような状況にあつては、前記基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて適宜変更してやることで、第 1 排ガスセンサの出力の目標値への収束の速応性を高めることができる。

【0021】そこで、本発明では上記の如く前記基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する。これにより、前記第 1 排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の速応性を高めることが可能となり、ひいては、触媒装置の所要の浄化性能の確保を円滑に行うことが可能となる。

【0022】尚、前記排気系のモデルは、連続系（詳しくは連続時間系）で表現することも可能であるが、前記操作量の生成をコンピュータ等により所定の制御サイクルで行う上では、該排気系のモデルは離散系（詳しくは離散時間系）で表したモデルであることが好ましい（請求項 2 記載の発明）。この場合、該モデルは、例えば各制御サイクルにおける前記第 1 排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差（以下の本発明の説明では、この偏差を排気系偏差出力ということがある）を、その制御サイクルよりも過去の制御サイクルにおける排気系偏差入力、及び前記排気系偏差出力により表現したモデル（自己回帰モデル）とする。

【0023】また、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、より具体的には、前記操作量は、例えば前記混合気空燃比と前記基準値との偏差（排気系偏差入力）の目標値であり、前記機関制御手段は、前記偏差の目標値と前記基準値とにより定まる目標空燃比に前記混合気空燃比を操作するよう前記内燃機関の動作を制御する（請求項 3 記載の発明）。

【0024】このように前記操作量を前記排気系偏差入力の目標値とし、この排気系偏差入力の目標値と前記基準値とにより定まる目標空燃比に前記混合気空燃比（実空燃比）を操作するよう前記内燃機関の動作を制御

する（例えば内燃機関の燃料供給量を調整すること）ことで、前記排気系のモデルに基づく前記フィードバック制御処理の構築が容易になると共に、前記操作量（排気系偏差入力の目標値）に基づく内燃機関の動作制御を的確に行うことが可能となる。

【0025】尚、このように前記機関制御手段により前記混合気空燃比を目標空燃比に操作するに際しては、例えば内燃機関で燃焼した混合気空燃比を検出するセンサを触媒装置の上流側に配置し、そのセンサの出力（空燃比の検出値）を目標空燃比に収束させるようにフィードバック制御により内燃機関の動作を制御することが好ましい。このようにすることで前記混合気空燃比を的確に目標空燃比に制御することができる。

【0026】但し、前記目標空燃比から例えばマップ等を用いて燃料供給量もしくはその補正量を決定する等することで該混合気空燃比（実空燃比）をフィードフォワード的に目標空燃比に操作することも可能である。

【0027】またさらに、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、前記第 1 排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差（排気系偏差出力）のデータと、前記モデルの挙動を規定する該モデルのパラメータとを用いて前記操作量を生成する処理（例えばスライディングモード制御の処理）である（請求項 4 記載の発明）。

【0028】つまり、前記排気系偏差出力のデータと、前記モデルのパラメータとを用いることで、第 1 排ガスセンサの出力をその目標値に収束させるために要求される的確な前記操作量を生成することができる。

【0029】尚、前記モデルのパラメータは該モデルの挙動を規定する上で、ある値に設定すべきパラメータである。例えば、該モデルを、前述のように各制御サイクルにおける前記排気系偏差出力を、その制御サイクルよりも過去の制御サイクルにおける排気系偏差入力、及び前記排気系偏差出力により表現した離散系のモデルとした場合には、排気系偏差入力や排気系偏差出力の項に係る係数が該モデルのパラメータである。

【0030】また、前記操作量生成手段が前記操作量を生成するために実行する前記フィードバック制御処理（例えばスライディングモード制御の処理）にあつては、簡易的に前記モデルのパラメータを用いないようなアルゴリズムを構築することも可能である。

【0031】前記のように前記操作量を前記排気系のモデルのパラメータを用いて生成する場合、前記混合気空燃比を検出すべく前記触媒装置の上流側に配置された第 2 排ガスセンサを具備し、前記モデルのパラメータを前記第 1 排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差（排気系偏差出力）のデータと、前記第 2 排ガスセンサの出力と前記基準値との偏差のデータとを用いて逐次同定する同定手段を備えることが好ましい（請求項 5 記載の発明）。

【0032】すなわち、前記モデルのパラメータはあらかじめ定めた一定値（固定値）としておくことも可能であるが、該モデルをそのモデル化対象である排気系の実際の挙動に整合したものとする上では、該モデルのパラメータを逐次リアルタイムで同定することが好ましい。そして、触媒装置の上流側に前記第2排ガスセンサにより前記混合気の空燃比を検出するようにすれば、この第2排ガスセンサの出力と前記基準値との偏差（これは前記排気系偏差入力値の検出値に相当する）のデータと前記排気系偏差出力のデータとを用いて前記モデルのパラメータを同定することができる。

【0033】一方、この場合、本願発明者等の知見によれば、第2排ガスセンサの出力が定常的なオフセットを生じていたり、前記操作量に基づいて操作する空燃比に定常的な外乱が含まれているような状況では、前記基準値を従来のように一定値としておくと、前記モデルのパラメータの同定値が真値に対して定常的な誤差が生じ易く、ひいては第1排ガスセンサの出力もその目標値に対して定常的な誤差を生じることがある。しかるに、本発明のように前記操作量に応じて前記基準値を可変的に設定するようにすることで、前記モデルのパラメータの同定値の精度を高めることが可能となり、ひいては、前記排気系の種々様々の挙動状態において、第1排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の精度を高めることができる。この結果、触媒装置の所要の浄化性能をより確実に確保することができる。

【0034】また、本発明のプラントの制御装置は、前述した内燃機関の空燃比制御装置をより一般化したものであり、前記の目的を達成するために、プラントへの入力を生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第1検出手段と、前記プラントを、該プラントへの入力と該入力に対する所定の基準値との偏差から少なくとも応答遅れを有して前記第1検出手段の出力と該出力に対する所定の目標値との偏差を生成する系として該プラントの挙動をあらかじめモデル化しておき、そのプラントのモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により前記第1検出手段の出力を前記目標値に収束させるように前記プラントへの入力を操作するための操作量を逐次生成する操作量生成手段と、該操作量に基づき前記アクチュエータの動作を制御して前記プラントへの入力を操作するアクチュエータ制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記所定の基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する基準値可変設定手段を備えたことを特徴とする（請求項13記載の発明）。

【0035】すなわち、本発明のプラントの制御装置では、上記の如く構成した前記プラントのモデルに基づいて構築されたフィードバック制御処理により、前記第1検出手段の出力（プラントの出力の検出値）を前記目標値に収束させるように前記プラントへの入力を操作する

ための操作量を逐次生成し、その操作量に基づき前記アクチュエータの動作を制御することでプラントへの入力であるアクチュエータの出力を操作する。

【0036】この場合、上記モデルにより表したプラントの入力と所定の基準値との偏差（以下の本発明の説明では、この偏差をプラント偏差入力ということがある）に関する該基準値の値を一定値としておくと、前記操作量に基づき操作するプラントへの入力（＝アクチュエータの出力）に定常的な外乱が含まれている場合等にあつては、該第1検出手段の出力の目標値への収束の速応性が低下することがある。そして、このような状況にあつては、前記基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて適宜変更してやることで、第1検出手段の出力の目標値への収束の速応性を高めることができる。

【0037】そこで、本発明では上記の如く前記基準値を前記操作量生成手段が生成する操作量に応じて可変的に設定する。これにより、前記第1検出手段の出力の目標値への収束制御の速応性を高めることが可能となる。

【0038】尚、前記プラントのモデルは、連続系（詳しくは連続時間系）で表現することも可能であるが、前記操作量の生成をコンピュータ等により所定の制御サイクルで行う上では、該プラントのモデルは離散系（詳しくは離散時間系）で表したモデルであることが好ましい（請求項14記載の発明）。この場合、該モデルは、例えば各制御サイクルにおける前記第1検出手段の出力と前記目標値との偏差（以下の本発明の説明では、この偏差をプラント偏差出力ということがある）を、その制御サイクルよりも過去の制御サイクルにおけるプラント偏差入力、及び前記プラント偏差出力により表現したモデル（自己回帰モデル）とする。

【0039】また、本発明のプラントの制御装置では、より具体的には、前記操作量は、前記プラントへの入力と前記基準値との偏差の目標値であり、前記アクチュエータ制御手段は、前記偏差の目標値と前記基準値とにより定まる目標入力に前記プラントへの入力を操作するよう前記アクチュエータの動作を制御する（請求項15記載の発明）。

【0040】このように前記操作量を前記プラント偏差入力の目標値とし、このプラント偏差入力の目標値と前記基準値とにより定まる目標入力に前記プラントへの入力（＝アクチュエータの出力）を操作するよう前記アクチュエータの動作を制御することで、前記プラントのモデルに基づく前記フィードバック制御処理の構築が容易になると共に、前記操作量（プラント偏差入力の目標値）に基づくアクチュエータの動作制御を的確に行うことが可能となる。

【0041】尚、前記プラントへの入力を目標入力に操作する場合、例えばプラントへの入力を検出する検出手段を設け、その検出手段の出力（プラントへの入力の検出値）を目標入力に収束させるようにフィードバック制

10

20

30

40

50

御によりアクチュエータの動作を制御することが好ましい。このようにすることでプラントへの入力を確実に目標入力に制御することができる。

【0042】但し、前記目標入力から例えばマップ等を用いてアクチュエータの出力をフィードフォワード的に決定することで、プラントへの入力を目標入力に操作することも可能である。

【0043】また、本発明のプラントの制御装置では、前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、前記第1検出手段の出力と前記目標値との偏差（プラント偏差出力）のデータと、前記モデルの挙動を規定する該モデルのパラメータとを用いて前記操作量を生成する処理（例えばスライディングモード制御の処理）である（請求項16記載の発明）。

【0044】つまり、前記排気系偏差出力のデータと、前記モデルのパラメータとを用いることで、第1排ガスセンサの出力をその目標値に収束させるために要求される確な前記操作量を生成することができる。

【0045】尚、前記モデルのパラメータは該モデルの挙動を規定する上で、ある値に設定すべきパラメータである。例えば、該モデルを、前述のように各制御サイクルにおける前記プラント偏差出力を、その制御サイクルよりも過去の制御サイクルにおけるプラント偏差入力、及び前記プラント偏差出力により表現した離散系のモデルとした場合には、プラント偏差入力やプラント偏差出力の項に係る係数が該モデルのパラメータである。

【0046】また、前記操作量生成手段が前記操作量を生成するために実行する前記フィードバック制御処理（例えばスライディングモード制御の処理）にあっては、簡易的に前記モデルのパラメータを用いないようなアルゴリズムを構築することも可能である。

【0047】前記のように前記操作量を前記プラントのモデルのパラメータを用いて生成する場合、前記プラントへの入力を検出する第2検出手段を具備し、前記モデルのパラメータを前記第1検出手段の出力と前記目標値との偏差のデータと、前記第2検出手段の出力と前記基準値との偏差のデータとを用いて逐次同定する同定手段を備えることが好ましい（請求項17記載の発明）。

【0048】すなわち、前記モデルのパラメータはあらかじめ定められた一定値（固定値）としておくことも可能であるが、該モデルをそのモデル化対象である排気系の実際の挙動に整合したものとする上では、該モデルのパラメータを逐次リアルタイムで同定することが好ましい。そして、前記第2検出手段により前記プラントへの入力を検出するようにすれば、この第2検出手段の出力と前記基準値との偏差（これは前記プラント偏差入力の検出値に相当する）のデータと前記排気系偏差出力のデータとを用いて前記モデルのパラメータを同定することができる。

【0049】一方、この場合、第2検出手段の出力が定

常的なオフセットを生じていたり、前記操作量に基づいて操作するプラントへの入りに定常的な外乱が含まれているような状況では、前記基準値を一定値としておくと、前記モデルのパラメータの同定値が真値に対して定常的な誤差が生じ易く、ひいては第1検出手段の出力もその目標値に対して定常的な誤差を生じることがある。しかるに、本発明のように前記操作量に応じて前記基準値を可変的に設定するようにすることで、前記モデルのパラメータの同定値の精度を高めることが可能となり、ひいては、前記プラントの種々様々の挙動状態において、第1検出手段の出力の目標値への収束制御の精度を高めることができる。

【0050】前述の如く前記モデルに基づく前記フィードバック制御処理を行う本発明の内燃機関の空燃比制御装置、あるいは本発明のプラントの制御装置にあっては、前記操作量生成手段が行う前記フィードバック制御処理は、スライディングモード制御の制御処理であることが好ましい（請求項6、18記載の発明）。そして、特に該スライディングモード制御は、適応スライディングモード制御であることが好ましい（請求項7、19記載の発明）。

【0051】すなわち、スライディングモード制御は、一般に周知のPID制御等に比して外乱等に対する制御の安定性が高いという特性を有する可変構造型のフィードバック制御手法である。そして、適応スライディングモード制御は、外乱等の影響を極力排除するための適応則（適応アルゴリズム）という制御則を通常のスライディングモード制御に加味したものである。従って、このようなスライディングモード制御、特に好ましくは、適応スライディングモード制御により前記操作量を生成することで、本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、第1排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の安定性を高めることができる。また、本発明のプラントの制御装置にあっては、第1検出手段の出力の目標値への収束制御の安定性を高めることができる。

【0052】尚、前記モデルに基づくフィードバック制御処理をスライディングモード制御により行う場合、該スライディングモード制御の処理は、前記モデルに与えるべき入力、すなわち前記排気系偏差入力（本発明の内燃機関の空燃比制御装置）あるいは前記プラント偏差入力（本発明のプラントの制御装置）の目標値を前記操作量として生成することとなる。

【0053】上記のように前記フィードバック制御処理を適応スライディングモード制御の処理により行う場合、前記操作量生成手段が前記適応スライディングモード制御の制御処理により生成する前記操作量は、該適応スライディングモード制御の適応則（適応アルゴリズム）に基づく適応則成分を含んでいる。そして、この場合、前記基準値可変設定手段は、該操作量の適応則成分の値に応じて前記基準値を可変的に設定することが特に

10

20

30

40

50

好適である（請求項 8、20 記載の発明）。

【0054】すなわち、適応スライディングモード制御の制御処理により生成する前記操作量は、基本的には該適応スライディングモード制御の処理で用いる切換関数といわれる関数の値を「0」に保持する（拘束する）ための制御則に基づく成分（所謂、等価制御入力）と、切換関数の値を「0」に収束させるための到達則に基づく成分と、切換関数の値を「0」に収束させるに際しての外乱等の影響を極力排除するための適応則に基づく成分との総和として表される。

【0055】尚、前記切換関数は、例えば制御量（これは本発明の内燃機関の空燃比制御装置では第 1 排ガスセンサの出力であり、本発明のプラントの制御装置では第 1 検出手段の出力である）と目標値との偏差の時系列データを成分とする線形関数等により表されるものである。また、前記適応則成分は、例えば切換関数の値の積算値（積分値）に比例させた値とする。

【0056】そして、本願発明者等の知見によれば、本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、上記適応則に基づく成分（適応則成分）の値に応じて前記基準値を可変的に設定することで、操作する空燃比に定常的に含まれる外乱等の影響（より一般的には操作量を生成する上で要する各種データの真値に対する誤差の影響）を好適に補償し、第 1 排ガスセンサの出力の目標値への収束制御の精度や速応性の向上を的確に図ることができる。

【0057】同様に、本発明のプラントの制御装置にあっては、適応則に基づく成分（適応則成分）の値に応じて前記基準値を可変的に設定することで、前記プラントへの入力である前記アクチュエータの出力に定常的に含まれる外乱等の影響（より一般的には操作量を生成する上で要する各種データの真値に対する誤差の影響）を好適に補償し、第 1 検出手段の出力の目標値への収束制御の精度や速応性の向上を的確に図ることができる。

【0058】この場合、より具体的には、前記基準値可変設定手段は、あらかじめ定めた所定値又は該所定値を含む該所定値の近傍範囲に対する前記操作量の適応則成分の値の大小関係に応じて前記基準値を増減させることにより該基準値を可変的に設定する（請求項 9、21 記載の発明）。

【0059】これにより前記適応則成分の値に応じた前記基準値の可変的な設定を適正に行うことができる。

尚、前記基準値は、適応スライディングモード制御がその制御処理の基礎とする前記排気系のモデルの入力としての前記排気系偏差入力（本発明の内燃機関の空燃比制御装置）、あるいは前記プラントのモデルの入力としての前記プラント偏差入力（本発明のプラントの制御装置）の基準となるものである。このため、該基準値をあまり頻繁に変化させると、適応スライディングモード制御により生成する前記操作量に悪影響を及ぼし、本発明

の内燃機関の空燃比制御装置に係わる前記第 1 排ガスセンサ、あるいは本発明のプラントの制御装置に係わる前記第 1 検出手段の出力の安定性を損なう虞がある。従って、前記適応則成分の値に応じた基準値の可変的な設定に際しては、前記所定値を含む該所定値の近傍範囲に対する適応則成分の値の大小関係に応じて該基準値を増減させる（適応則成分の値が上記近傍範囲内に存するときには基準値を変化させない）ことが好ましい。

【0060】前述の如く、前記操作量を生成するフィードバック制御処理をスライディングモード制御（適応スライディングモード制御を含む）により行うとき、前記基準値可変設定手段は、前記第 1 排ガスセンサ（本発明の内燃機関の空燃比制御装置）あるいは前記第 1 検出手段（本発明のプラントの制御装置）の出力が安定であるか否かを逐次判断する手段を具備し、該第 1 排ガスセンサあるいは第 1 検出手段の出力が不安定であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持することが好ましい（請求項 10、22 記載の発明）。

【0061】すなわち、前記基準値は前記スライディングモード制御の処理により生成される前記操作量、ひいては前記第 1 排ガスセンサあるいは第 1 検出手段の出力に影響を及ぼすため、該第 1 排ガスセンサあるいは第 1 検出手段の出力が不安定であると判断される状況では、該基準値の可変的な設定を行わず、該基準値を所定値（例えば現状の値や、あらかじめ定めた固定値）に保持する。これにより、本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、第 1 排ガスセンサの出力がさらに不安定となるような不適性な操作量が生成されるような事態を回避することができる。同様に、本発明のプラントの制御装置にあっては、第 1 検出手段の出力がさらに不安定となるような不適性な操作量が生成されるような事態を回避することができる。

【0062】このように前記第 1 排ガスセンサ（本発明の内燃機関の空燃比制御装置）あるいは第 1 検出手段（本発明のプラントの制御装置）の出力の安定性を判断するとき、前記基準値可変設定手段は、前記スライディングモード制御の制御処理に用いる切換関数の値に基づき、前記第 1 排ガスセンサあるいは第 1 検出手段の出力が安定であるか否かの判断を行う（請求項 11、23 記載の発明）。

【0063】すなわち、スライディングモード制御では、その処理に用いる切換関数の値を安定に「0」に収束させることが、制御量（これは本発明の内燃機関の空燃比制御装置では第 1 排ガスセンサの出力であり、本発明のプラントの制御装置では第 1 検出手段の出力である）を安定に目標値に収束させる上で重要な処理となる。従って、この切換関数の値に基づいて前記第 1 排ガスセンサあるいは第 1 検出手段の出力の安定性を判断することができる。

【0064】例えば切換関数の値とその変化速度との積（これは切換関数に関するリアプノフ関数の時間微分値に相当する）を求めた場合、この積が正側の値であるとき切換関数の値が「0」から離間しつつある状態であり、また、負側の値であるとき切換関数の値が「0」に接近しつつある状態である。従って、基本的には上記積の値が正側の値であるか、負側の値であるかによって、それぞれ前記第1排ガスセンサあるいは第1検出手段の出力が不安定、安定と判断することが可能である。尚、この他にも、切換関数の値の大きさや、その変速速度の大きさを適当な所定値と比較する等して、前記第1排ガスセンサあるいは第1検出手段の出力の安定性を判断することも可能である。

【0065】またさらに、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、前記基準値可変設定手段は、前記第1排ガスセンサの出力が前記目標値に略収束しているか否を判断する手段を具備し、該第1排ガスセンサの出力が前記目標値へ未収束状態であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持する（請求項12記載の発明）。

【0066】同様に、本発明のプラントの制御装置では、前記基準値可変設定手段は、前記第1検出手段の出力が前記目標値に略収束しているか否を判断する手段を具備し、該第1検出手段の出力が前記目標値へ未収束状態であると判断したとき、前記基準値を前記操作量によらずに所定値に保持する（請求項24記載の発明）。

【0067】すなわち、本発明の内燃機関の空燃比制御装置に係わる前記第1排ガスセンサの出力、あるいは本発明のプラントの制御装置に係わる前記第1検出手段の出力が目標値に未収束状態であると判断される状況では、前記操作量の生成状態が不安定なものとなり易いので、前記請求項11、あるいは請求項23記載の発明の場合と同様に、前記基準値の可変的な設定を行わず、該基準値を所定値に保持する。

【0068】これにより、本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、前記操作量の生成状態の安定性をできるだけ確保し、第1排ガスセンサの出力の目標値への収束制御を安定に行うことができ、ひいては触媒装置の所要の浄化性能を安定して確保することができる。同様に、本発明のプラントの制御装置にあっては、前記操作量の生成状態の安定性をできるだけ確保し、第1検出手段の出力の目標値への収束制御を安定に行うことができる。

【0069】尚、本発明の内燃機関の空燃比制御装置に係わる第1排ガスセンサの出力、あるいは本発明のプラントの制御装置に係わる第1検出手段の出力が、目標値に略収束しているか否かの判断は、例えば、その出力と目標値との偏差（排気系偏差出力あるいはプラント偏差出力）の大きさを適当な所定値と比較することで行うことができる。より具体的には、該偏差の大きさが所定値

以下であるときには略収束していると判断し、該偏差の大きさが所定値よりも大きいときには未収束状態であると判断すればよい。

【0070】また、前述した本発明の内燃機関の空燃比制御装置に関しては、前記触媒装置の最適な浄化性能を確保する上では、前記第1排ガスセンサとしてO₂センサ（酸素濃度センサ）を用い、その出力の目標値を所定の一定値とすることが好適である。

【0071】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態を図1乃至図26を参照して説明する。尚、本実施形態は、本発明の内燃機関の空燃比制御装置の一実施形態であると同時に、本発明のプラントの制御装置の一実施形態でもある。

【0072】図1は本実施形態の装置の全体的システム構成を示すブロック図であり、図中、1は例えば自動車あるいはハイブリッド車に車両の推進源（図示しない駆動輪の駆動源）として搭載された4気筒のエンジン（内燃機関）である。このエンジン1が各気筒毎に燃料及び空気の混合気の燃焼により生成する排ガスは、エンジン1の近傍で共通の排気管2（排気通路）に集合され、該排気管2を介して大気中に放出される。そして、排気管2には、排ガスを浄化するために、三元触媒を用いて構成された二つの触媒装置3、4が該排気管2の上流側から順に介装されている。尚、下流側の触媒装置4はこれを省略してもよい。また、本発明のプラントの制御装置に対応させると、エンジン1はアクチュエータに相当するものである。

【0073】本実施形態のシステムでは、触媒装置3の最適な浄化性能を確保するようにエンジン1の空燃比

（より正確にはエンジン1で燃焼させる燃料及び空気の混合気の空燃比。以下、同様）を制御する。そして、この制御を行うために、触媒装置3の上流側（より詳しくはエンジン1の各気筒毎の排ガスの集合箇所）で排気管2に設けられた第2排ガスセンサ（第2検出手段）としての広域空燃比センサ5と、触媒装置3の下流側（触媒装置4の上流側）で排気管2に設けられた第1排ガスセンサ（第1検出手段）としてのO₂センサ（酸素濃度センサ）6と、これらのセンサ5、6の出力（検出値）等に基づき後述の制御処理を行う制御ユニット7とを具備している。尚、制御ユニット7には、前記広域空燃比センサ5やO₂センサ6の出力の他に、エンジン1の運転状態を検出するための図示しない回転数センサや吸気圧センサ、冷却水温センサ等、各種のセンサの出力が与えられる。

【0074】広域空燃比センサ5は、O₂センサを用いて構成されたものであり、触媒装置3に進入する排ガスをエンジン1での燃焼により生成した混合気の空燃比（これは触媒装置3に進入する排ガス中の酸素濃度により把握される）に応じたレベルの出力を生成する。この

場合、広域空燃比センサ5（以下、LAFセンサ5と称する）は、該センサ5を構成するO₂センサの出力から図示しないリニアライザ等の検出回路によって、エンジン1で燃焼した混合気空燃比の広範囲にわたって、それに比例したレベルの出力KACT、すなわち、該空燃比の検出値を表す出力KACTを生成するものである。このようなLAFセンサ5は本願出願人が特開平4-369471号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0075】また、触媒装置3の下流側のO₂センサ6は、触媒装置3を通過した排ガス中の酸素濃度に応じたレベルの出力V02/OUT、すなわち、該排ガス中の酸素濃度の検出値を表す出力V02/OUTを通常的なO₂センサと同様に生成する。このO₂センサ6の出力V02/OUTは、図2に示すように、触媒装置3を通過した排ガスの酸素濃度により把握される空燃比が理論空燃比近傍の範囲Δに存するような状態で、該排ガスの酸素濃度にほぼ比例した高感度な変化を生じるものとなる。

【0076】制御ユニット7はマイクロコンピュータを用いて構成されたものであり、エンジン1の目標空燃比KCMD（これはLAFセンサ5の出力KACTの目標値でもある）を逐次生成するための処理を所定の制御サイクルで実行する制御ユニット7a（以下、排気側制御ユニット7aという）と、上記目標空燃比KCMDにエンジン1の空燃比を操作するための処理を所定の制御サイクルで実行する制御ユニット7b（以下、機関側制御ユニット7bという）とに大別される。この場合、機関側制御ユニット7bは、本発明の内燃機関の空燃比制御手段に対応させると、機関制御手段に相当し、また、本発明のプラントの制御装置に対応させると、アクチュエータ制御手段に相当するものである。

【0077】この場合、排気側制御ユニット7aで生成する目標空燃比KCMDは、基本的には前記O₂センサ6の出力（酸素濃度の検出値）を所定の目標値（一定値）に整定させるために要求されるエンジン1の空燃比である。そして、排気側制御ユニット7aがこの目標空燃比KCMDを生成するために実行する処理の制御サイクルは、本実施形態では触媒装置3を含む後述の排気系Eが有する比較的長い無駄時間や演算負荷等を考慮し、一定周期（例えば30～100ms）としている。

【0078】一方、機関側制御ユニット7bによるエンジン1の空燃比の操作処理（より具体的にはエンジン1の燃料供給量を調整する処理）は、エンジン1の回転数に同期させる必要があることから、該機関側制御ユニット7bが実行する処理の制御サイクルは、エンジン1のクランク角周期（所謂TDC）に同期した周期とされている。そして、機関側制御ユニット7bは、LAFセンサ5やO₂センサ6等の各種センサの出力データの読み込みもクランク角周期（TDC）に同期した制御サイクルで行うようにしている。

【0079】尚、排気側制御ユニット7aの制御サイクルである前記一定周期は、前記クランク角周期（TDC）よりも長いものとされている。

【0080】前記機関側制御ユニット7bは、その機能的構成として、エンジン1への基本燃料噴射量T_{im}を求める基本燃料噴射量算出部8と、基本燃料噴射量T_{im}を補正するための第1補正係数KTOTAL及び第2補正係数KCMDMをそれぞれ求める第1補正係数算出部9及び第2補正係数算出部10とを具備する。

【0081】前記基本燃料噴射量算出部8は、エンジン1の回転数NEと吸気圧PBとから、それらに応じたエンジン1の基準の燃料噴射量（燃料供給量）をあらかじめ設定されたマップを用いて求め、その基準の燃料噴射量をエンジン1の図示しないスロットル弁の有効開口面積に応じて補正することで基本燃料噴射量T_{im}を算出するものである。

【0082】また、第1補正係数算出部9が求める第1補正係数KTOTALは、エンジン1の排気還流率（エンジン1の吸入空気中に含まれる排ガスの割合）や、エンジン1の図示しないキャニスタのパージ時にエンジン1に供給される燃料のパージ量、エンジン1の冷却水温、吸気温等を考慮して前記基本燃料噴射量T_{im}を補正するためのものである。

【0083】また、第2補正係数算出部10が求める第2補正係数KCMDMは、排気側制御ユニット7aが後述の如く生成する目標空燃比KCMDに対応してエンジン1へ流入する燃料の冷却効果による吸入空気の充填効率を考慮して基本燃料噴射量T_{im}を補正するためのものである。

【0084】これらの第1補正係数KTOTAL及び第2補正係数KCMDMによる基本燃料噴射量T_{im}の補正は、第1補正係数KTOTAL及び第2補正係数KCMDMを基本燃料噴射量T_{im}に乗算することで行われ、この補正によりエンジン1の要求燃料噴射量T_{cyl}が得られる。

【0085】尚、前記基本燃料噴射量T_{im}や、第1補正係数KTOTAL、第2補正係数KCMDMのより具体的な算出手法は、特開平5-79374号公報等に本願出願人が開示しているので、ここでは詳細な説明を省略する。

【0086】機関側制御ユニット7bは、上記の機能的構成の他、さらに、排気側制御ユニット7aが逐次生成する目標空燃比KCMDにLAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）を収束させるようにフィードバック制御によりエンジン1の燃料噴射量を調整するフィードバック制御部14を備えている。

【0087】このフィードバック制御部14は、本実施形態では、エンジン1の各気筒の全体的な空燃比をフィードバック制御する大局的フィードバック制御部15と、エンジン1の各気筒毎の空燃比をフィードバック制御する局所的フィードバック制御部16とに分別される。

【0088】前記大局的フィードバック制御部15は、

L A F センサ 5 の出力 KACT を前記目標空燃比 KCMD に収束させるように前記要求燃料噴射量 T_{cyl} を補正する（要求燃料噴射量 T_{cyl} に乗算する）フィードバック補正係数 KFB を逐次求めるものである。

【0089】この大局的フィードバック制御部 15 は、L A F センサ 5 の出力 KACT と目標空燃比 KCMD との偏差に応じて周知の P I D 制御を用いて前記フィードバック補正係数 KFB としてのフィードバック操作量 KLAF を生成する P I D 制御器 17 と、L A F センサ 5 の出力 KACT と目標空燃比 KCMD とからエンジン 1 の運転状態の変化や特性変化等を考慮して前記フィードバック補正係数 KFB を規定するフィードバック操作量 KSTR を適応的に求める適応制御器 18（図では S T R と称している）とをそれぞれ独立的に具備している。

【0090】ここで、本実施形態では、前記 P I D 制御器 17 が生成するフィードバック操作量 KLAF は、L A F センサ 5 の出力 KACT（空燃比の検出値）が目標空燃比 KCMD に一致している状態で「1」となり、該操作量 KLAF をそのまま前記フィードバック補正係数 KFB として使用できるようにになっている。一方、適応制御器 18 が生成するフィードバック操作量 KSTR は L A F センサ 5 の出力 KACT が目標空燃比 KCMD に一致する状態で「目標空燃比 KCMD」となるものである。このため、該フィードバック操作量 KSTR を除算処理部 19 で目標空燃比 KCMD により除算してなるフィードバック操作量 $kstr (=KSTR/KCMD)$ が前記フィードバック補正係数 KFB として使用できるようになっている。

【0091】そして、大局的フィードバック制御部 15 は、P I D 制御器 17 により生成されるフィードバック操作量 KLAF と、適応制御器 18 が生成するフィードバック操作量 KSTR を目標空燃比 KCMD により除算してなるフィードバック操作量 $kstr$ とを切換部 20 で適宜、択一的に選択する。さらに、その選択したいずれか一方のフィードバック操作量 KLAF 又は $kstr$ を前記フィードバック補正係数 KFB として使用し、該補正係数 KFB を前記要求燃料噴射量 T_{cyl} に乗算することにより該要求燃料噴射量 T_{cyl} を補正する。尚、かかる大局的フィードバック制御部 15（特に適応制御器 18）については後にさらに詳細に説明する。

【0092】前記局所的フィードバック制御部 16 は、L A F センサ 5 の出力 KACT から各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ ($n=1, 2, 3, 4$) を推定するオブザーバ 21 と、このオブザーバ 21 により推定された各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ から各気筒毎の空燃比のばらつきを解消するよう、P I D 制御を用いて各気筒毎の燃料噴射量のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ をそれぞれ求める複数（気筒数個）の P I D 制御器 22 とを具備する。

【0093】ここで、オブザーバ 21 は、それを簡単に説明すると、各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定を次のように行うものである。すなわち、エンジン 1 から L A F

センサ 5 の箇所（各気筒毎の排ガスの集合部）にかけての系を、エンジン 1 の各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ から L A F センサ 5 で検出される空燃比を生成する系と考え、これを、L A F センサ 5 の検出応答遅れ（例えば一次遅れ）や、L A F センサ 5 で検出される空燃比に対するエンジン 1 の各気筒毎の空燃比の時間的寄与度を考慮してモデル化する。そして、そのモデルの基で、L A F センサ 5 の出力 KACT から、逆算的に各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ を推定する。

10 【0094】尚、このようなオブザーバ 21 は、本願出願人が例えば特開平 7-83094 号公報に詳細に開示しているので、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0095】また、局所的フィードバック制御部 16 の各 P I D 制御器 22 は、L A F センサ 5 の出力 KACT を、機関側制御ユニット 7b における前回の制御サイクルで各 P I D 制御器 22 により求められたフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ の全気筒についての平均値により除算してなる値を各気筒の空燃比の目標値とする。そして、その目標値とオブザーバ 21 により求められた各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定値との偏差が解消するように、今回の制御サイクルにおける、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ を求める。

【0096】さらに、局所的フィードバック制御部 16 は、前記要求燃料噴射量 T_{cyl} に大局的フィードバック制御部 15 のフィードバック補正係数 KFB を乗算してなる値に、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ を乗算することで、各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ ($n=1, 2, 3, 4$) を求める。

【0097】このようにして求められる各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ は、機関側制御ユニット 7b に備えた各気筒毎の付着補正部 23 により吸気管の壁面付着を考慮した補正が各気筒毎になされた後、エンジン 1 の図示しない燃料噴射装置に与えられ、その付着補正がなされた出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ で、エンジン 1 の各気筒への燃料噴射が行われるようになっている。

【0098】尚、上記付着補正については、本願出願人が例えば特開平 8-21273 号公報に詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。また、図 1 において、参照符号 24 を付したセンサ出力選択処理部は、前記オブザーバ 21 による各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定に適した L A F センサ 5 の出力 KACT をエンジン 1 の運転状態に応じて選択するもので、これについては、本願出願人が特開平 7-259488 号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0099】一方、前記排気側制御ユニット 7a は、その主たる機能的構成として、機関側制御ユニット 7b を介して与えられる L A F センサ 5 の出力 KACT のデータ及び O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ のデータを用いて目標空燃比 KCMD を排気側制御ユニット 7a の制御サイクルで逐

次生成する目標空燃比生成処理部 28 を具備する。

【0100】この目標空燃比生成処理部 28 は、図 3 に示す如く、エンジン 1 の空燃比に対する基準値 FLAF/BASE (以下、空燃比基準値 FLAF/BASE という。これは前記 LAF センサ 5 の出力 KACT に対する基準値でもある) を逐次可变的に設定する基準値設定部 11 (基準値可変設定手段) と、LAF センサ 5 の出力 KACT (空燃比の検出値) と該空燃比基準値 FLAF/BASE との偏差 $kact (= KACT - FLAF/BASE)$ を求める減算処理部 12 と、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT とこれに対する目標値 V02/TARGET との偏差 $V02' (= V02/OUT - V02/TARGET)$ を求める減算処理部 13 とを備えている。この場合、本実施形態では O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT がある所定の一定値に整定するような状態で、触媒装置 3 の経時劣化等によらずに該触媒装置 3 の最適な浄化性能が得られることから、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT の目標値 V02/TARGET は上記所定の一定値 (固定値) とされている (図 2 参照)。

【0101】尚、以下の説明において、前記減算処理部 12、13 がそれぞれ求める偏差 $kact$ 、V02 をそれぞれ LAF センサ 5 の偏差出力 $kact$ 及び O₂ センサ 6 の偏差出力 V02 と称する。

【0102】排気側制御ユニット 7a の目標空燃比生成処理部 28 はさらに、前記 LAF センサ 5 の偏差出力 $kact$ 及び O₂ センサ 6 の偏差出力 V02 のデータを用いて、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT をその目標値 V02/TARGET に収束させる (偏差出力 V02 を「0」に収束させる) ようにエンジン 1 の空燃比を操作するための操作量 usl を逐次生成する操作量生成部 29 (操作量生成手段) と、この操作量 usl を所定の許容範囲内の値に制限するリミット処理を該操作量 usl に施してなる操作量 $kcmd$ を生成するリミッタ 30 (リミット処理手段) と、該リミッタ 30 が生成した操作量 $kcmd$ に前記基準値設定部 11 で設定された前記空燃比基準値 FLAF/BASE を加算する加算処理部 31 とを備えている。

【0103】この場合、本実施形態では、前記操作量生成部 29 が後述の如く生成する操作量 usl は、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT をその目標値 V02/TARGET に収束させる上で要求されるエンジン 1 の実際の空燃比 (LAF センサ 5 で検出される空燃比) と前記空燃比基準値 FLAF/BASE との偏差の目標値を表すものである。従って、基本的には、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT をその目標値 V02/TARGET に収束させるためには、この操作量 usl (以下、要求偏差空燃比 usl という) に前記空燃比基準値 FLAF/BASE を加算したものを前記目標空燃比 KCMD として生成すればよい。

【0104】しかるに、操作量生成部 29 が生成する要求偏差空燃比 usl は、外乱等の影響で比較的大きな変動を生じることもある。そして、このような要求偏差空燃比 usl に対応して定まる目標空燃比 ($= usl + FLAF/BASE$) にエンジン 1 の実際の空燃比 (LAF センサ 5 の出

力) を操作すると、エンジン 1 の運転状態が不安定になる虞がある。

【0105】このような不都合を回避するため、目標空燃比生成処理部 28 は、前記リミッタ 30 によって前記要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施すことで、その値を所定の許容範囲内に制限してなる前記操作量 $kcmd$ を生成するようにしている。

【0106】ここで、リミッタ 30 が行うリミット処理は、前記要求偏差空燃比 usl の値が所定の許容範囲内に存する状態 (通常的な状態) では、該要求偏差空燃比 usl をそのまま前記操作量 $kcmd$ として設定し、また、要求偏差空燃比 usl の値が許容範囲から該許容範囲の上限値側あるいは下限値側に逸脱したときには、それぞれ前記操作量 $kcmd$ を強制的に該許容範囲の上限値、下限値に設定する処理である。

【0107】そして、目標空燃比生成処理部 28 は、このように要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施してなる操作量 $kcmd$ (以下、指令偏差空燃比 $kcmd$ という) に、前記加算処理部 31 で前記空燃比基準値 FLAF/BASE を加算することで前記目標空燃比 KCMD、すなわち、前記機関側制御ユニット 7a にエンジン 1 の空燃比の指令値として与える目標空燃比 KCMD ($= kcmd + FLAF/BASE$) を生成するようにしている。

【0108】前記操作量生成部 29 をさらに説明する。この操作量生成部 29 は、排気管 2 の LAF センサ 5 の箇所 (触媒装置 3 の上流側) から O₂ センサ 6 の箇所 (触媒装置 3 の下流側) にかけての触媒装置 3 を含む排気系 (図 1 で参照符号 E を付した部分。以下、対象排気系 E という) が有する無駄時間や、前記エンジン 1 及び機関側制御ユニット 7b が有する無駄時間、前記対象排気系 E の挙動変化等を考慮しつつ、フィードバック制御の一手法である適応スライディングモード制御を用いて、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT をその目標値 V02/TARGET に収束させる (O₂ センサ 6 の偏差出力 V02 を「0」に収束させる) ために対象排気系 E に与えるべき制御入力としての前記要求偏差空燃比 usl を排気側制御ユニット 7a の制御サイクルで逐次生成するものである。尚、前記対象排気系 E は、本発明のプラントの制御装置に対応させると、プラントに相当するものである。

【0109】このような要求偏差空燃比 usl の生成処理を行うために、本実施形態では、前記対象排気系 E を、エンジン 1 で燃焼した混合気 (触媒装置 3 に進入する排ガスを燃焼により生成した混合気) の実際の空燃比と前記空燃比基準値 FLAF/BASE との偏差に相当する前記 LAF センサ 5 の偏差出力 $kact$ から無駄時間及び応答遅れを有して O₂ センサ 6 の偏差出力 V02 を生成する系と見なし、その挙動をあらかじめモデル化する。またさらに、本実施形態では前記エンジン 1 及び機関側制御ユニット 7b から成る系 (以下、この系を空燃比操作系と称する) を、前記目標空燃比 KCMD と前記空燃比基準値 FLAF/B

10

20

30

40

50

ASE との偏差 (=KCMD-FLAF/BASE) である前記指令偏差空燃比kcmd (これは通常的には前記要求偏差空燃比u_{sl}に一致する) から無駄時間を有してLAFセンサ5の偏差出力kactを生成する系、すなわち各時点のLAFセンサ5の偏差出力kactが空燃比操作系の無駄時間前の指令偏差空燃比kcmdに一致する系と見なし、その挙動をあらかじめモデル化する。

$$V02(k+1)=a_1 \cdot V02(k)+a_2 \cdot V02(k-1)+b_1 \cdot kact(k-d_1) \quad (1)$$

【0112】ここで、上式(1)において、「k」は排気側制御ユニット7aの離散時間的な制御サイクルの番数を示し(以下、同様)、「d1」は対象排気系Eに存する無駄時間を制御サイクル数で表したものである。この場合、対象排気系Eの無駄時間(LAFセンサ5が検出する各時点の空燃比がO₂センサ6の出力V02/OUTに反映されるようになるまでに要する時間)は、排気側制御ユニット7aの制御サイクルの周期(一定周期)を30~100msとしたとき、一般的には、3~10制御サイクル分の時間(d1=3~10)である。そして、本実施形態では、式(1)により表した排気系モデルにおける無駄時間d1の値として、対象排気系Eの実際の無駄時間と等しいか、もしくはそれよりも若干長いものにあらかじめ設定した所定の一定値(本実施形態では例えばd1=7)を用いる。

【0113】また、式(1)の右辺第1項及び第2項はそれぞれ対象排気系Eの応答遅れに対応するもので、第1項は1次目の自己回帰項、第2項は2次目の自己回帰項である。そして、「a1」、「a2」はそれぞれ1次目の自己回帰項のゲイン係数、2次目の自己回帰項のゲイン係数である。これらのゲイン係数a1、a2は別の言い方をすれば、排気系モデルにおけるO₂センサ6の偏差出力V02に係る係数である。

【0114】さらに、式(1)の右辺第3項は対象排気系Eの入力としてのLAFセンサ5の偏差出力kactを対象排気系Eの無駄時間d1を含めて表現するものであり、「b1」はその入力(=LAFセンサ5の偏差出力kact)に係るゲイン係数である。これらのゲイン係数a1、a2、b1は排気系モデルの挙動を規定する上である値に設定(同定)すべきパラメータであり、本実施形態では後述の同定器によって逐次同定するものである。

【0115】このように式(1)により離散時間系で表現した排気系モデルは、それを言葉で表現すれば、排気側制御ユニット7aの各制御サイクルにおける対象排気系Eの出力としての前記O₂センサ6の偏差出力V02(k+1)を、該制御サイクルよりも過去の制御サイクルにおける複数(本実施形態では二つ)の偏差出力V02(k)、V02(k-1)とLAFセンサ5の偏差出力kact(k-d1)とにより表したものである。

【0116】一方、エンジン1及び機関側制御ユニット7bからなる前記空燃比操作系のモデル(以下、空燃比

*【0110】この場合、本実施形態では、対象排気系Eの挙動を表現するモデル(以下、排気系モデルという)は、次式(1)の如く離散時間系のモデル(より詳しくは対象排気系Eの入力である偏差出力kactに無駄時間を有する自己回帰モデル)により表現する。

【0111】

【数1】

$$kact(k)=kcmd(k-d_2) \quad (2)$$

操作系モデルという)は、次式(2)の如く離散時間系のモデルにより表現する。

【0117】

【数2】

$$kact(k)=kcmd(k-d_2) \quad (2)$$

【0118】ここで、式(2)において、「d2」は空燃比操作系の無駄時間を排気側制御ユニット7aの制御サイクル数で表したものである。この場合、空燃比操作系の無駄時間(各時点の目標空燃比KCMDもしくは指令偏差空燃比kcmdがLAFセンサ5の出力KACTもしくは偏差出力kactに反映されるようになるまでに要する時間)は、エンジン1の回転数NEによって変化し、エンジン1の回転数が低くなる程、長くなる。そして、本実施形態では、式(2)により表した空燃比操作系モデルにおける無駄時間d2の値としては、上記のような空燃比操作系の無駄時間の特性を考慮し、例えばエンジン1のアイドル回転数において実際の空燃比操作系が有する無駄時間(これは、エンジン1の任意の回転数において空燃比操作系が採り得る最大側の無駄時間である)と等しいか、もしくはそれよりも若干長いものにあらかじめ設定した所定の一定値(本実施形態では例えばd2=3)を用いる。

【0119】このように式(2)により表現した空燃比操作系モデルは、排気側制御ユニット7aの各制御サイクルにおけるLAFセンサ5の偏差出力kact(k)が空燃比操作系の無駄時間d2前の前記指令偏差空燃比kcmd(k-d2)に一致するとして、該偏差出力kact(k)を指令偏差空燃比kcmd(k-d2)により表したものである。

【0120】尚、空燃比操作系には、実際には、無駄時間の他、エンジン1の応答遅れも含まれるのであるが、目標空燃比KCMDもしくは指令偏差空燃比kcmdに対するLAFセンサ5の出力KACTもしくは偏差出力kactの応答遅れは、基本的には前記機関側制御ユニット7bのフィードバック制御部14(特に適応制御部18)によって補償されるため、排気側制御ユニット7aの操作量生成部29から見た空燃比操作系では、エンジン1の応答遅れを考慮せずとも支障はない。

【0121】前記操作量生成部29は、式(1)及び式(2)によりそれぞれ表現した排気系モデル及び空燃比操作系モデルに基づいて構築された処理を排気側制御ユニット7aの制御サイクルで行って、前記O₂センサ6

の出力V02/OUT をその目標値V02/TARGETに収束させるために対象排気系Eに与えるべき入力としての前記要求操作量uslを逐次生成するものである。そして、この要求操作量uslを生成するために図3に示したような機能的構成を具備している。

【0122】すなわち、操作量生成部29は、LAFセンサ5の偏差出力kact及びO₂センサ6の偏差出力V02のデータを用いて、前記排気系モデル(式(1))の設定すべきパラメータである前記ゲイン係数a1, a2, b1の値を制御サイクル毎に逐次同定する同定器25(同定手段)を備える。また、該操作量生成部29は、LAFセンサ5の偏差出力kactのデータと、O₂センサ6の偏差出力V02のデータと、以下に述べるスライディングモード制御器27が過去に求めた要求偏差空燃比uslに前記リミッタ30でリミット処理を施してなる前記指令偏差空燃比kcmd(通常的にはkcmd=uslである)のデータと、前記同定器25により算出された前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定値a1ハット, a2ハット, b1ハット(以下、同定ゲイン係数a1ハット, a2ハット, b1ハットという)とを用いて、対象排気系Eの無駄時間d1及び空燃比操作系の無駄時間d2を合わせた合計無駄時間d(=d1+d2)後のO₂センサ6の偏差出力V02の推定値V02バー(以下、推定偏差出力V02バーという)を制御サイクル毎に逐次求める推定器26を備える。さらに操作量生成部29は、推定器26により求められたO₂センサ6の推定偏差出力V02バーのデータと、前記同定ゲイン係数*

$$\hat{V}02(k) = \hat{a}1(k-1) \cdot V02(k-1) + \hat{a}2(k-1) \cdot V02(k-2) + \hat{b}1(k-1) \cdot kact(k-d1-1) \quad (3)$$

【0127】この式(3)は、排気系モデルを表す前記式(1)を1制御サイクル分、過去側にシフトし、ゲイン係数a1, a2, b1を同定ゲイン係数a1ハット(k-1), a2ハット(k-1), b1ハット(k-1)で置き換えたものである。また、式(3)の第3項で用いる対象排気系Eの無駄時間d1の値は、前述の如く設定した一定値(本実施形態ではd1=7)を用いる。

【0128】ここで、次式(4), (5)で定義される※

$$\xi^T(k) = [V02(k-1) \ V02(k-2) \ kact(k-d1-1)] \quad (5)$$

【0131】前記式(3)は、次式(6)により表される。

【0132】

【数6】

$$\hat{V}02(k) = \Theta^T(k-1) \cdot \xi(k) \quad (6)$$

【0133】さらに同定器25は、前記式(3)あるいは式(6)により求められるO₂センサ6の同定偏差出力V02ハットと今現在のO₂センサ6の偏差出力V02との偏差id/eを排気系モデルの実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を表すものとして次式(7)により求め

* a1ハット, a2ハット, b1ハットとを用いて適応スライディングモード制御により前記要求偏差空燃比uslを制御サイクル毎に逐次算出するスライディングモード制御器27を備える。

【0123】これらの同定器25、推定器26及びスライディングモード制御器27による演算処理のアルゴリズムは以下のように構築されている。

【0124】まず、前記同定器25は、前記式(1)により表現した排気系モデルの実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を極力小さくするように前記ゲイン係数a1, a2, b1の値をリアルタイムで逐次同定するものであり、その同定処理を次のように行う。

【0125】すなわち、同定器25は、排気側制御ユニット7aの制御サイクル毎に、まず、今現在設定されている排気系モデルの同定ゲイン係数a1ハット, a2ハット, b1ハット、すなわち前回の制御サイクルで決定した同定ゲイン係数a1(k-1)ハット, a2(k-1)ハット, b1(k-1)ハットの値と、LAFセンサ5の偏差出力kact及びO₂センサ6の偏差出力V02の過去に得られたデータとを用いて、次式(3)により排気系モデル上でのO₂センサ6の偏差出力V02(排気系モデルの出力)の値V02(k)ハット(以下、同定偏差出力V02(k)ハットという)を求める。

【0126】

【数3】

※ベクトル Θ 及び ξ を導入すると(式(4), (5)中の添え字「T」は転置を意味する。以下同様。)、

【0129】

【数4】

$$\Theta^T(k) = [\hat{a}1(k) \ \hat{a}2(k) \ \hat{b}1(k)] \quad (4)$$

【0130】

【数5】

る(以下、偏差id/eを同定誤差id/eという)。

【0134】

【数7】

$$id/e(k) = V02(k) - \hat{V}02(k) \quad (7)$$

【0135】そして、同定器25は、上記同定誤差id/eを最小にするように新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット, a2(k)ハット, b1(k)ハット、換言すれば、これらの同定ゲイン係数を要素とする新たな前記ベクトル $\Theta(k)$ (以下、このベクトルを同定ゲイン係数ベクトル Θ という)を求めるもので、その算出を、次式(8)によ

り行う。すなわち、同定器25は、前回の制御サイクルで決定した同定ゲイン係数a1ハット(k-1)、a2ハット(k-1)、b1ハット(k-1)を、同定誤差id/eに比例させた量だけ変化させることで新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット

*ト、a2(k)ハット、b1(k)ハットを求める。

【0136】

【数8】

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + K\theta(k) \cdot id/e(k) \quad (8)$$

【0137】ここで、式(8)中の「Kθ」は次式

※る。

(9)により決定される三次のベクトル(各同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの同定誤差id/eに応じた変化度合いを規定するゲイン係数ベクトル)であ

【0138】

【数9】

$$K\theta(k) = \frac{P(k-1)\xi(k)}{1 + \xi^T(k)P(k-1)\xi(k)} \quad (9)$$

【0139】また、上式(9)中の「P」は次式(10)の漸化式により決定される三次の正方行列である。

★【0140】

【数10】

$$P(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[I - \frac{\lambda_2(k)P(k-1)\xi(k)\xi^T(k)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k)\xi^T(k)P(k-1)\xi(k)} \right] P(k-1) \quad (10)$$

(但しI:単位行列)

【0141】尚、式(10)中の「λ₁」、「λ₂」は0<λ₁≤1及び0≤λ₂<2の条件を満たすように設定され、また、「P」の初期値P(0)は、その各対角成分を正の数とする対角行列である。

【0142】この場合、式(10)中の「λ₁」、「λ₂」の設定の仕方によって、固定ゲイン法、漸減ゲイン法、重み付き最小二乗法、最小二乗法、固定トレース法等、各種の具体的なアルゴリズムが構成され、本実施形態では、例えば最小二乗法(この場合、λ₁=λ₂=1)を採用している。

【0143】本実施形態における同定器25は基本的には前述のようなアルゴリズム(演算処理)によって、前記同定誤差id/eを最小化するように排気系モデルの前記同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを制御サイクル毎に逐次求める。このような処理によって、実際の対象排気系Eに適合した同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットが逐次得られる。

【0144】以上説明した演算処理が同定器25による基本的な処理内容である。尚、本実施形態では、同定器☆

$$V02(k+1) = a1 \cdot V02(k) + a2 \cdot V02(k-1) + b1 \cdot kcmd(k-d1-d2)$$

$$= a1 \cdot V02(k) + a2 \cdot V02(k-1) + b1 \cdot kcmd(k-d) \quad (11)$$

【0148】この式(11)は、対象排気系E及び空燃比操作系を合わせた系を、前記指令偏差空燃比kcmdから対象排気系E及び空燃比操作系の両者の無駄時間と対象排気系Eの応答遅れとを有してO₂センサ6の偏差出力V02を生成する系と見なして、離散時間系のモデルで表現したものである。

【0149】そして、この式(11)を用いることで、各制御サイクルにおける前記合計無駄時間d後のO₂セ

20☆25は、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを求めるに際して、それらの値の制限処理等、付加的な処理も行うのであるが、これらについては後述する。

【0145】次に、前記推定器26は、後に詳細を説明するスライディングモード制御器27による要求偏差空燃比uslの算出処理に際しての対象排気系Eの無駄時間d1及び前記空燃比操作系の無駄時間d2の影響を補償するために、前記合計無駄時間d(=d1+d2)後のO₂センサ6の偏差出力V02の推定値である前記推定偏差出力V02バーを制御サイクル毎に逐次求めるものである。その推定処理のアルゴリズムは次のように構築されている。尚、この推定器26の詳細は特願平10-130864号にて本願出願人が説明しているので、ここでは、概略を説明する。

【0146】まず、排気系モデルを表す前記式(1)に、空燃比操作系モデルを表す式(2)を適用すると、式(1)は次式(11)に書き換えることができる。

【0147】

【数11】

ンサ6の偏差出力V02(k+d)の推定値である前記推定偏差出力V02(k+d)バーは、O₂センサ6の偏差出力V02の時系列データV02(k)及びV02(k-1)と、前記指令偏差空燃比kcmd(=KCMD-FLAF/BASE)の過去値の時系列データkcmd(k-j)(j=1,2,...,d)とを用いて次式(12)により表される。

【0150】

【数12】

$$\overline{V02}(k+d) = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot kcmd(k-j) \quad (12)$$

但し、

$$\begin{cases} \alpha_1 = A^d \text{ の第1行第1列成分} \\ \alpha_2 = A^d \text{ の第1行第2列成分} \\ \beta_j = A^{j-1} \cdot B \text{ の第1行成分} \\ A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ B = \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \end{cases}$$

【0151】ここで、式(12)において、 α_1 、 α_2 は、それぞれ同式(12)中のただし書きで定義した行列Aの巾乗 A^d (d : 合計無駄時間)の第1行第1列成分、第1行第2列成分である。また、 β_j ($j=1, 2, \dots, d$)は、それぞれ行列Aの巾乗 A^{j-1} ($j=1, 2, \dots, d$)と同式(12)中のただし書きで定義したベクトルBとの積 $A^{j-1} \cdot B$ の第1行成分である。

【0152】さらに、式(12)中の指令偏差空燃比 $kcmd$ の過去値の時系列データ $kcmd(k-j)$ ($j=1, 2, \dots, d$)のうち、現在から空燃比操作系の無駄時間 d_2 以前の指令*20

$$\begin{aligned} \overline{V02}(k+d) &= \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) \\ &\quad + \sum_{j=1}^{d_2-1} \beta_j \cdot kcmd(k-j) + \sum_{i=0}^{d-d_2} \beta_{i+d_2} \cdot kact(k-i) \\ &= \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) \\ &\quad + \sum_{j=1}^{d_2-1} \beta_j \cdot kcmd((k-j)) + \sum_{i=0}^{d_1} \beta_{i+d_2} \cdot kact(k-i) \end{aligned} \quad (13)$$

【0154】この式(13)が本実施形態において、推定器26が前記推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーを算出するための基本式である。つまり、本実施形態では、推定器26は、制御サイクル毎に、 O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、後述するスライディングモード制御器27が生成する要求偏差空燃比 u_{sl} にリミット処理を施してなる指令偏差空燃比 $kcmd$ の過去値のデータ $kcmd(k-j)$ ($j=1, \dots, d_2-1$)と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の時系列データ $kact(k-i)$ ($i=0, \dots, d_1$)とを用いて式(13)の演算を行うことによって、 O_2 センサ6の推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーを求める。

【0155】この場合、本実施形態では、式(13)により推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーを算出するために必要となる係数 α_1 、 α_2 及び β_j ($j=1, 2, \dots, d$)の値は、基本的には、前記ゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 (これらは式(12)のただし書きで定義した行列A及びベクトルBの成分である)の同定値である前記同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハット、 b_1 ハットを用いて算出する。また、式(13)の演算で必要となる無駄時間 d_1 、 d_2 の値は、前述の如く設定した値を用いる。

【0156】尚、推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーは、LAF

* 偏差空燃比 $kcmd$ の過去値の時系列データ $kcmd(k-d_2)$ 、 $kcmd(k-d_2-1)$ 、 \dots 、 $kcmd(k-d)$ は前記式(2) (空燃比操作系のモデル)に基づいて、それぞれ、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の現在以前に得られるデータ $kact(k)$ 、 $kact(k-1)$ 、 \dots 、 $kact(k-d+d_2)$ に置き換えることができる。そして、この置き換えを行うことで、次式(13)が得られる。

【0153】

【数13】

センサ5の偏差出力 $kact$ のデータを使用せずに、式(12)の演算により求めるようにしてもよい。この場合には、 O_2 センサ6の推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーは、 O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、指令偏差空燃比 $kcmd$ の時系列データ $kcmd(k-j)$ ($j=1, 2, \dots, d$)と、前記同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハット、 b_1 ハットにより定まる係数 α_1 、 α_2 及び β_j ($j=1, 2, \dots, d$)の値とを用いて推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーを求めることとなる。但し、推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーの信頼性を高める上では、エンジン1等の実際の挙動が反映されるLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ のデータを用いた式(13)の演算により推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーを求めることが好ましい。

【0157】また、空燃比操作系の無駄時間 d_2 を「1」に設定できるような場合には、式(12)中の指令偏差空燃比 $kcmd$ の過去値の時系列データ $kcmd(k-j)$ ($j=1, 2, \dots, d$)の全てをそれぞれ、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の現在以前に得られる時系列データ $kact(k)$ 、 $kact(k-1)$ 、 \dots 、 $kact(k-d+d_2)$ に置き換えることができる。このため、この場合には、推定偏差出力 $\overline{V02}(k+d)$ バーは、指令偏差空燃比 $kcmd$ のデータを含まない次式(14)により求めることができる。

【0158】

* * 【数14】

$$\overline{V02}(k+d) = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{j=0}^{d-1} \beta_{j+1} \cdot kact(k-j) \quad (14)$$

【0159】また、本記実施形態では、O₂ センサ6の推定偏差出力V02 バーを推定器26により制御サイクル毎に求める際には、式(12)中の目標偏差空燃比kcmdの時系列データのうち、空燃比操作系の無駄時間d2以前のものについては全て、LAFセンサ5の偏差出力kactに置き換えた式(13)により推定偏差出力V02バーを求めるようにしたが、式(12)中の無駄時間d2以前の目標偏差空燃比kcmdの時系列データのうちの一部分のみをLAFセンサ5の偏差出力kactに置き換えた式によって推定偏差出力V02 バーを求めるようにしてもよい。

【0160】以上説明した演算処理が推定器26により制御サイクル毎にO₂ センサ6の偏差出力V02 の前記合計無駄時間d後の推定値である推定偏差出力V02(k+d)バーを求めるための基本的な処理内容である。

【0161】次に、前記スライディングモード制御器27を説明する。尚、このスライディングモード制御器27の詳細は、特願平10-130864号にて本願出願人が説明しているので、ここでは、概略を説明する。

【0162】本実施形態のスライディングモード制御器27は、通常的なスライディングモード制御に外乱等の影響を極力排除するための適応則を加味した適応スライディングモード制御により、O₂ センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに収束させるように(O₂ セン

※ンサ6の偏差出力V02 を「0」に収束させるように)エンジン1の空燃比を操作するための操作量として前記要求偏差空燃比uslを逐次求めるものである。そして、その処理のためのアルゴリズムは次のように構築されている。

10 【0163】まず、スライディングモード制御器27の適応スライディングモード制御に必要な切換関数とこの切換関数により定義される超平面(これはすべり面とも言われる)とについて説明する。

【0164】本実施形態におけるスライディングモード制御の基本的な考え方としては、制御すべき状態量として、例えば各制御サイクルで得られたO₂ センサ6の偏差出力V02(k)と、その1制御サイクル前に得られた偏差出力V02(k-1)とを用い、スライディングモード制御用の切換関数σを次式(15)により定義する。すなわち、該切換関数σは、O₂ センサ6の偏差出力V02の時系列データV02(k)、V02(k-1)を成分とする線形関数により定義する。尚、前記偏差出力V02(k)、V02(k-1)を成分とするベクトルとして式(15)中で定義したベクトルXを以下、状態量Xという。

【0165】

【数15】

$$= S \cdot X$$

$$\left(\text{但し } S = [s_1 \ s_2], X = \begin{bmatrix} V02(k) \\ V02(k-1) \end{bmatrix} \right) \quad (15)$$

【0166】この場合、切換関数σの成分V02(k)、V02(k-1)に係る係数s₁、s₂は、次式(16)の条件を満たすように設定する。

★ 【0167】

【数16】

★

$$-1 < \frac{s_2}{s_1} < 1$$

$$(s_1=1 \text{ のとき } -1 < s_2 < 1)$$

(16)

【0168】尚、本実施形態では、簡略化のために係数s₁をs₁=1とし(この場合、s₂/s₁=s₂である)、-1<s₂<1の条件を満たすように係数s₂の値を設定している。

【0169】このように切換関数σを定義したとき、スライディングモード制御用の超平面はσ=0なる式によって定義されるものである。この場合、状態量Xは二次元系であるので超平面σ=0は図4に示すように直線となり、このとき、該超平面は切換線とも言われる。

【0170】尚、本実施形態では、切換関数の成分とし

て、実際には前記推定器26により求められる前記推定偏差出力V02 バーの時系列データを用いるのであるが、これについては後述する。

【0171】本実施形態で用いる適応スライディングモード制御は、状態量X=(V02(k), V02(k-1))を上記の如く設定した超平面σ=0に収束させる(切換関数σの値を「0」に収束させる)ための制御則である到達則と、その超平面σ=0への収束に際して外乱等の影響を補償するための制御則である適応則とにより該状態量Xを超平面σ=0に収束させる(図4のモード1)。そし

て、該状態量 X を所謂、等価制御入力によって超平面 $\sigma = 0$ に拘束しつつ（切換関数 σ の値を「0」に保持する）、該状態量 X を超平面 $\sigma = 0$ 上の平衡点である $V02(k) = V02(k-1) = 0$ となる点、すなわち、 O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ の時系列データ $V02/OUT(k)$ 、 $V02/OUT(k-1)$ が目標値 $V02/TARGET$ に一致するような点に収束させる（図 4 のモード 2）。

【0172】上記のように状態量 X を超平面 $\sigma = 0$ の平衡点に収束させるために本実施形態のスライディングモード制御器 27 が生成する前記要求偏差空燃比 u_{sl} は、状態量 X を超平面 $\sigma = 0$ 上に拘束するための制御則に従って対象排気系 E に与えるべき入力の成分である等価制御入力 u_{eq} と、前記到達則に従って対象排気系 E に与えるべき入力の成分 u_{rch} （以下、到達則入力 u_{rch} という）と、前記適応則に従って対象排気系 E に与えるべき入力の成分 u_{adp} （以下、適応則入力 u_{adp} という）との総和により表される（次式（17））。

$$\begin{aligned} u_{eq}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot \{S \cdot (A-I)\} \cdot X(k+d) \\ &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot \{[s_1 \cdot (a_1 - 1) + s_2] \cdot V02(k+d) \\ &\quad + (s_1 \cdot a_2 - s_2) \cdot V02(k+d-1)\} \end{aligned} \quad (18)$$

【0177】この式（18）が本実施形態において、制御サイクル毎に等価制御入力 $u_{eq}(k)$ を求めるための基本式である。

【0178】次に、前記到達則入力 u_{rch} は、本実施形態では、基本的には次式（19）により決定するものとする。

【0179】

【数 19】

$$\begin{aligned} u_{rch}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \\ &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \end{aligned} \quad (19)$$

【0180】すなわち、到達則入力 u_{rch} は、前記合計無駄時間 d を考慮し、合計無駄時間 d 後の切換関数 σ の値 $\sigma(k+d)$ に比例させるように決定する。

【0181】この場合、式（19）中の係数 F （これは到達則のゲインを規定する）は、次式（20）の条件を満たすように設定する。

$$\begin{aligned} u_{adp}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \\ &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \end{aligned} \quad (22)$$

【0187】すなわち、適応則入力 u_{adp} は、合計無駄時間 d を考慮し、該合計無駄時間 d 後までの切換関数 σ の値の制御サイクル毎の積算値（これは切換関数 σ の値

* 【0173】

【数 17】

$$u_{sl} = u_{eq} + u_{rch} + u_{adp} \quad (17)$$

【0174】そして、これらの等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} は、本実施形態では、前記式（11）により表される離散時間系のモデル（式（1）中の LAF センサ 5 の偏差出力 $k_{act}(k-d)$ を合計無駄時間 d を用いた指令偏差空燃比 $k_{cmd}(k-d)$ で置き換えたモデル）に基づいて、次のように決定する。

【0175】まず、状態量 X を超平面 $\sigma = 0$ に拘束するために対象排気系 E に与えるべき入力成分である前記等価制御入力 u_{eq} は、 $\sigma(k+1) = \sigma(k) = 0$ なる条件を満たす指令偏差空燃比 k_{cmd} である。そして、このような条件を満たす等価制御入力 u_{eq} は、式（11）と式（15）とを用いて次式（18）により与えられる。

【0176】

【数 18】

* 【0182】

【数 20】

$$0 < F < 2 \quad (20)$$

【0183】尚、切換関数 σ の値の挙動に関しては、該切換関数 σ の値が「0」に対して振動的な変化（所謂チャタリング）を生じる虞れがあり、このチャタリングを抑制するためには、到達則入力 u_{rch} に係わる係数 F は、さらに次式（21）の条件を満たすように設定することが好ましい。

【0184】

【数 21】

$$0 < F < 1 \quad (21)$$

【0185】次に、前記適応則入力 u_{adp} は、本実施形態では、基本的には次式（22）により決定するものとする。ここで式（22）中の ΔT は排気側制御ユニット 7 a の制御サイクルの周期である。

【0186】

【数 22】

の積分値に相当する）に比例させるように決定する。

【0188】この場合、式（22）中の係数 G （これは適応則のゲインを規定する）は、次式（23）の条件を

満たすように設定する。

【0189】

$$G=J \cdot \frac{2-F}{\Delta T}$$

(但し、 $0 < J < 2$)

(23)

【0190】尚、前記式(16)、(20)、(21)、(23)の設定条件のより具体的な導出の仕方については、本願出願人が既に特願平9-251142号等にて詳細に説明しているの、ここでは詳細な説明を省略する。

【0191】前記O₂センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに収束させる(O₂センサ6の偏差出力V02を「0」に収束させる)上で対象排気系Eに与えるべき入力としての前記要求偏差空燃比uslは、基本的には前記式(18)、(19)、(22)により決定される等価制御入力ueq、到達則入力urch及び適応則入力uadpの総和(ueq+urch+uadp)として決定すれ※

$$Ueq(k) = \frac{-1}{s1b1} \{ [s1 \cdot (a1-1) + s2] \cdot \overline{V02}(k+d) + (s1 \cdot a2 - s2) \cdot \overline{V02}(k+d-1) \}$$

(24)

【0193】また、本実施形態では、実際には、推定器26により前述の如く逐次求められた推定偏差出力V02バーの時系列データを制御すべき状態量とし、前記式(15)により設定された切換関数σに代えて、次式(25)により切換関数σバーを定義する(この切換関★

$$\sigma(k) = s1 \cdot \overline{V02}(k) + s2 \cdot \overline{V02}(k-1) \quad (25)$$

【0195】そして、スライディングモード制御器27は、前記式(19)により前記到達則入力urchを決定するための切換関数σの値の代わりに、前記式(25)により表される切換関数σバーの値を用いて次式(2

$$Urch(k) = \frac{-1}{s1b1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \quad (26)$$

【0197】同様に、スライディングモード制御器27は、前記式(22)により前記適応則入力uadpを決定するための切換関数σの値の代わりに、前記式(25)により表される切換関数σバーの値を用いて次式(2

$$Uadp(k) = \frac{-1}{s1b1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \quad (27)$$

【0199】尚、前記式(24)、(26)、(27)により等価制御入力ueq、到達則入力urch及び適応則入力uadpを算出する際に必要となる前記ゲイン係数a1、a2、b1としては、本実施形態では基本的には前記同定器25により求められた最新の同定ゲイン係数a1(k)ハット、a2(k)ハット、b1(k)ハットを用いる。

【0200】そして、スライディングモード制御器27は、前記式(24)、(26)、(27)によりそれぞ

*【数23】

*

※ばよい。しかるに、前記式(18)、(19)、(22)で使用するO₂センサ6の偏差出力V02(k+d)、V02(k+d-1)や、切換関数σの値σ(k+d)等は未来値であるので直接的には得られない。そこで、本実施形態では、スライディングモード制御器27は、前記式(18)により前記等価制御入力ueqを決定するためのO₂センサ6の偏差出力V02(k+d)、V02(k+d-1)の代わりに、前記推定器26で求められる推定偏差出力V02(k+d)バー、V02(k+d-1)バーを用い、次式(24)により制御サイクル毎の等価制御入力ueqを算出する。

【0192】

【数24】

★数σバーは、前記式(15)の偏差出力V02の時系列データを推定偏差出力V02バーの時系列データで置き換えたものに相当する)。

【0194】

【数25】

☆6)により制御サイクル毎の到達則入力urchを算出する。

【0196】

【数26】

◆7)により制御サイクル毎の適応則入力uadpを算出する。

【0198】

【数27】

れ求められる等価制御入力ueq、到達則入力urch及び適応則入力uadpの総和を前記要求偏差空燃比uslとして求める(前記式(17)を参照)。尚、この場合において、前記式(24)、(26)、(27)中で用いる前記係数s1、s2、F、Gの設定条件は前述の通りである。

【0201】このようにしてスライディングモード制御器27が求める要求偏差空燃比uslは、O₂センサ6の

推定偏差出力V02 バーを「0」に収束させ、その結果としてO₂ センサ6の出力V02/OUT を目標値V02/TARGETに収束させる上で、対象排気系Eに与えるべき入力、すなわちエンジン1の空燃比と前記基準値FLAF/BASEとの偏差の目標値である。

【0202】以上説明した処理が、本実施形態において、スライディングモード制御器27により前記要求偏差空燃比uslを制御サイクル毎に生成するための演算処理（アルゴリズム）である。

【0203】尚、前述した如く、排気側制御ユニット7 10 aの目標空燃比生成処理部28は、上記のようにスライ*

$$KCMD(k)=kcmd(k)+FLAF/BASE$$

【0205】また、本実施形態では、リミッタ30は前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲を要求偏差空燃比uslやエンジン1の運転状態等に応じて逐次可変的に設定するのであるが、これについては後述する。

【0206】さらに、本実施形態では、要求偏差空燃比uslや指令偏差空燃比kcmdの基準としている前記空燃比基準値FLAF/BASEは、前記基準値設定部11によって、スライディングモード制御器27が生成する要求偏差空燃比uslの適応則成分である前記適応則入力uadpに応じて逐次可変的に設定されるのであるが、これについても後述する。

【0207】次に、前記機関側制御ユニット7bの大局的フィードバック制御部15、特に前記適応制御器18をさらに説明する。

【0208】前記図1を参照して、大局的フィードバック制御部15は、前述のようにLAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）を目標空燃比KCMDに収束させるようにフィードバック制御を行うものであるが、このとき、このようなフィードバック制御を周知のPID制御だけで行うようにすると、エンジン1の運転状態の変化や経年的特性変化等、動的な挙動変化に対して、安定した制御性を確保することが困難である。

【0209】前記適応制御器18は、上記のようなエンジン1の動的な挙動変化を補償したフィードバック制御を可能とする漸化式形式の制御器であり、I. D. ランダウ等により提唱されているパラメータ調整則を用いて、図5に示すように、複数の適応パラメータを設定す※40

$$A(Z^{-1})=1+a_1Z^{-1}+\cdots+a_nZ^{-n} \quad (29)$$

【0212】

$$B(Z^{-1})=b_0+b_1Z^{-1}+\cdots+b_mZ^{-m} \quad (30)$$

【0213】

$$\begin{aligned} \hat{\theta}^T(j) &= [\hat{b}_0(j), \hat{B}_R(Z^{-1}, j), \hat{S}(Z^{-1}, j)] \\ &= [b_0(j), r_1(j), \cdots, r_m+dp-1(j), s_0(j), \cdots, s_{n-1}(j)] \\ &= [b_0(j), r_1(j), r_2(j), r_3(j), s_0(j)] \end{aligned} \quad (31)$$

* ディングモード制御器27が生成した要求偏差空燃比uslに前記リミッタ30（図3参照）でリミット処理を施して前記指令偏差空燃比kcmd（通常的にはkcmd=usl）を求める。そして、この指令偏差空燃比kcmdに、次式（28）のように前記加算処理部31で前記空燃比基準値FLAF/BASEを加算することで機関側制御ユニット7bに与える目標空燃比KCMD（=kcmd+FLAF/BASE）を確定するようにしている。

【0204】

【数28】

(28)

※ パラメータ調整部32と、設定された適応パラメータを用いて前記フィードバック操作量KSTRを算出する操作量算出部33とにより構成されている。

【0210】ここで、パラメータ調整部30について説明すると、ランダウ等の調整則では、離散系の制御対象の伝達関数 $B(Z^{-1})/A(Z^{-1})$ の分母分子の多項式を一般的に下記の式（29）、（30）のようにおいたとき、パラメータ調整部30が設定する適応パラメータ θ ハット(j)（jは制御サイクルの番数を示す）は、式（31）のようにベクトル（転置ベクトル）で表される。また、パラメータ調整部30への入力 $\zeta(j)$ は、式（32）のように表される。この場合、本実施形態では、大局的フィードバック制御部15の制御対象であるエンジン1が一次系で3制御サイクル分の無駄時間 d_p （エンジン1の燃焼サイクルの3サイクル分の時間）を持つプラントと考え、式（29）～式（32）で $m=n=1$ 、 $d_p=3$ とし、設定する適応パラメータは s_0 、 r_1 、 r_2 、 r_3 、 b_0 の5個とした（図5参照）。尚、式（32）の上段式及び中段式における u_s 、 y_s は、それぞれ、制御対象への入力（操作量）及び制御対象の出力（制御量）を一般的に表したものであるが、本実施形態では、上記入力をフィードバック操作量KSTR、制御対象（エンジン1）の出力を前記LAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）とし、パラメータ調整部32への入力 $\zeta(j)$ を、式（32）の下段式により表す（図5参照）。

【0211】

【数29】

【0214】

* * 【数32】

$$\begin{aligned} \zeta^T(j) &= [us(j) \dots us(j-m-dp+1), ys(j), \dots ys(j-n+1)] \\ &= [us(j), us(j-1), us(j-2), us(j-3), ys(j)] \\ &= [KSTR(j), KSTR(j-1), KSTR(j-2), KSTR(j-3), KACT(j)] \end{aligned}$$

(32)

【0215】ここで、前記式(31)に示される適応パラメータ θ ハットは、適応制御器18のゲインを決定するスカラー要素 b_0 ハット (Z^{-1}, j) 、操作量を用いて表現される制御要素 B_R ハット (Z^{-1}, j) 、及び制御量を用いて表現される制御要素 $S(Z^{-1}, j)$ からなり、それぞれ、次式(33)～(35)により表現される(図5の操作量算出部33のブロック図を参照)。*

* 【0216】

【数33】

$$\hat{b}_0^{-1}(j) = \frac{1}{b_0} \quad (33)$$

【0217】

【数34】

$$\begin{aligned} \hat{B}_R(Z^{-1}, j) &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + \dots + r_{m+dp-1} Z^{-(n+dp-1)} \\ &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + r_3 Z^{-3} \end{aligned} \quad (34)$$

【0218】

★ ★ 【数35】

$$\begin{aligned} \hat{S}(Z^{-1}, j) &= s_0 + s_1 Z^{-1} + \dots + s_n Z^{-(n-1)} \\ &= s_0 \end{aligned} \quad (35)$$

【0219】パラメータ調整部32は、これらのスカラー要素や制御要素の各係数を設定して、それを式(31)に示す適応パラメータ θ ハットとして操作量算出部33に与えるもので、現在から過去に渡るフィードバック操作量KSTRの時系列データとLAFセンサ5の出力KACTとを用いて、該出力KACTが前記目標空燃比KCMDに一致☆

☆するように、適応パラメータ θ ハットを算出する。

【0220】この場合、具体的には、適応パラメータ θ ハットは、次式(36)により算出する。

【0221】

【数36】

$$\hat{\theta}(j) = \hat{\theta}(j-1) + \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp) \cdot e^*(j) \quad (36)$$

【0222】同式(36)において、 $\Gamma(j)$ は、適応パラメータ θ ハットの設定速度を決定するゲイン行列(この行列の次数は $m+n+dp$)、 e アスタリスク(j)は、適応パラメータ θ ハットの推定誤差を示すもので、◆

30◆それぞれ式(37)、(38)のような漸化式で表される。

【0223】

【数37】

$$\Gamma(j) = \frac{1}{\lambda_1(j)} \left[\Gamma(j-1) - \frac{\lambda_2(j) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp) \cdot \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1)}{\lambda_1(j) + \lambda_2(j) \cdot \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp)} \right]$$

$$\text{但し、} 0 < \lambda_1(j) \leq 1, 0 \leq \lambda_2(j) < 2, \Gamma(0) > 0 \quad (37)$$

【0224】

* * 【数38】

$$e^*(j) = \frac{D(Z^{-1}) \cdot KACT(j) - \hat{\theta}^T(j-1) \cdot \zeta(j-dp)}{1 + \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp)} \quad (38)$$

【0225】ここで、式(38)中の「 $D(Z^{-1})$ 」は、収束性を調整するための、漸近安定な多項式であり、本実施形態では $D(Z^{-1}) = 1$ としている。

【0226】尚、式(37)の $\lambda_1(j)$ 、 $\lambda_2(j)$ の選び方により、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴリズム、固定トレースアルゴリズム、固定ゲインアルゴリズム等の種々の具体的なアルゴリズムが得られる。エンジン1の燃料噴射あるいは空燃比等の時変プラントでは、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴリズム

ム、固定ゲインアルゴリズム、および固定トレースアルゴリズムのいずれもが適している。

【0227】前述のようにパラメータ調整部32により設定される適応パラメータ θ ハット(s_0 , r_1 , r_2 , r_3 , b_0)と、前記排気側主演算処理部13により決定される目標空燃比KCMDとを用いて、操作量算出部33は、次式(39)の漸化式により、フィードバック操作量KSTRを求める。図5の操作量算出部33は、同式(39)の演算をブロック図で表したものである。

【0228】

$$KSTR = \frac{KCMD(j) - S_0 \cdot KACT(j) - r_1 \cdot KSTR(j-1) - r_2 \cdot KSTR(j-2) - r_3 \cdot KSTR(j-3)}{b_0} \quad (39)$$

【0229】尚、式(39)により求められるフィードバック操作量KSTRは、LAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態において、「目標空燃比KCMD」となる。このために、前述の如く、フィードバック操作量KSTRを除算処理部19によって目標空燃比KCMDで除算することで、前記フィードバック補正係数KFBとして使用できるフィードバック操作量kstrを求めるようにしている。

【0230】このように構築された適応制御器18は、前述したことから明らかなように、制御対象であるエンジン1の動的な挙動変化を考慮した漸化式形式の制御器であり、換言すれば、エンジン1の動的な挙動変化を補償するために、漸化式形式で記述された制御器である。そして、より詳しくは、漸化式形式の適応パラメータ調整機構を備えた制御器と定義することができる。

【0231】尚、この種の漸化式形式の制御器は、所謂、最適レギュレータを用いて構築する場合もあるが、この場合には、一般にはパラメータ調整機構は備えられておらず、エンジン1の動的な挙動変化を補償する上では、前述のように構成された適応制御器18が好適である。

【0232】以上が、本実施形態で採用した適応制御器18の詳細である。

【0233】尚、適応制御器18と共に、大局的フィードバック制御部15に具備したPID制御器17は、一般のPID制御と同様に、LAFセンサ5の出力KACTと、その目標空燃比KCMDとの偏差から、比例項(P項)、積分項(I項)及び微分項(D項)を算出し、それらの各項の総和をフィードバック操作量KLAFとして算出する。この場合、本実施形態では、積分項(I項)の初期値を“1”とすることで、LAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態において、フィードバック操作量KLAFが“1”になるようにし、該フィードバック操作量KLAFをそのまま燃料噴射量を補正するための前記フィードバック補正係数KFBとして使用することができるようにしている。また、比例項、積分項及び微分項のゲインは、エンジン1の回転数と吸気圧とから、あらかじめ定められたマップを用いて決定される。

【0234】また、大局的フィードバック制御部15の前記切換部20は、エンジン1の冷却水温の低温時や、高速回転運転時、吸気圧の低圧時等、エンジン1の燃焼が不安定なものとなりやすい場合、あるいは、目標空燃比KCMDの変化が大きい時や、空燃比のフィードバック制御の開始直後等、これに応じたLAFセンサ6の出力KACTが、そのLAFセンサ5の応答遅れ等によって、信頼性に欠ける場合、あるいは、エンジン1のアイドル運転時のようエンジン1の運転状態が極めて安定して、

適応制御器18による高ゲイン制御を必要としない場合には、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLAFを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正量数KFBとして出力する。そして、上記のような場合以外の状態で、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正係数KFBとして出力する。これは、適応制御器18が、高ゲイン制御で、LAFセンサ5の出力KACTを急速に目標空燃比KCMDに収束させるように機能するため、上記のようにエンジン1の燃焼が不安定となったり、LAFセンサ5の出力KACTの信頼性に欠ける等の場合に、適応制御器18のフィードバック操作量KSTRを用いると、かえって空燃比の制御が不安定なものとなる虞れがあるからである。

【0235】このような切換部20の作動は、例えば特開平8-105345号公報に本願出願人が詳細に開示しているので、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0236】次に本実施形態の装置の作動の詳細を説明する。

【0237】まず、図6のフローチャートを参照して、前記機関側制御ユニット7bによるエンジン1の空燃比の操作のためのエンジン1の各気筒毎の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ ($n=1, 2, 3, 4$)の算出処理について説明する。機関側制御ユニット7bは、各気筒毎の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ の算出処理をエンジン1のクランク角周期と同期した制御サイクルで次のように行う。

【0238】機関側制御ユニット7bは、まず、前記LAFセンサ5及び O_2 センサ6を含む各種センサの出力を読み込む(STEP a)。この場合、LAFセンサ5の出力KACT及び O_2 センサ6の出力V02/OUTはそれぞれ過去に得られたものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0239】次いで、基本燃料噴射量算出部8によって、前述の如くエンジン1の回転数NE及び吸気圧PBに対応する燃料噴射量をスロットル弁の有効開口面積に応じて補正してなる基本燃料噴射量 T_{im} が求められ(STEP b)、さらに、第1補正係数算出部9によって、エンジン1の冷却水温やキャニスタのページ量等に応じた第1補正係数KTOTALが算出される(STEP c)。

【0240】次いで、機関側制御ユニット7bは、排気側制御ユニット7aの目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDをエンジン1の空燃比を操作するために使用するか否か(ここでは、目標空燃比生成処理部28のON/OFFという)の判別処理を行って、目標空燃比生成処理部28のON/OFFを規定するフラグf/prism/onの値を設定する(STEP d)。このフラ

10

20

30

40

50

グf/prism/onの値は、それが「0」のとき、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDを使用しないこと(OFF)を意味し、「1」のとき、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDを使用すること(ON)を意味する。

【0241】上記の判別処理では、図7に示すように、O₂ センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別が行われる(STEP d-1, d-2)。このとき、いずれかが活性化していない場合には、目標空燃比生成処理部28の処理に使用するO₂ センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする(STEP d-10)。

【0242】また、エンジン1のリーン運転中(希薄燃焼運転)であるか否か(STEP d-3)、エンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否か、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か、及びエンジン1のフューエルカット中(燃料供給の停止中)であるか否かの判別が行われる(STEP d-4~d-6)。そして、これらのいずれかの条件が成立している場合には、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の空燃比を操作することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする(STEP d-10)。

【0243】さらに、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBがそれぞれ所定範囲内(正常な範囲内)にあるか否かの判別が行われ(STEP d-7, d-8)、いずれかが所定範囲内にない場合には、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の空燃比を操作することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする(STEP d-10)。

【0244】そして、STEP d-1, d-2, d-7, d-8の条件が満たされ、且つ、STEP d-3, d-4, d-5, d-6の条件が成立していない場合には、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDをエンジン1の空燃比の操作に使用すべく、フラグf/prism/onの値を「1」にセットする(STEP d-9)。

【0245】尚、STEP d-10でフラグf/prism/onの値を「0」にセットしたときには、フラグf/prism/onの値が「0」から「1」に切り替わる時点からの経過時間、すなわち、目標空燃比生成処理部28で生成される目標空燃比KCMDによるエンジン1の空燃比の操作(O₂ センサ6の出力VO2/OUTの目標値VO2/TARGETへの収束制御)を開始してから経過時間を計時するタイマカウンタtm/stb(カントダウンタイマ)の値を所定の初期値TMSTBに設定して該タイマカウンタtm/stbを起動する(STEP d-11)。このタイマtm/stbは、その値が一定

周期(排気側制御ユニット7aの制御サイクルの周期よりも長い周期)でカウントダウンされていくものである。そして、上記初期値TMSTBは、後述するスライディングモード制御器27の安定性の判断を禁止する期間に相当するものである。

【0246】図7に戻って、上記のようにフラグf/prism/onの値を設定した後、機関側制御ユニット7bは、フラグf/prism/onの値を判断し(STEP e)、f/prism/on=1である場合には、目標空燃比生成処理部28で生成された最新の目標空燃比KCMDを読み込む(STEP f)。また、f/prism/on=0である場合には、目標空燃比KCMDを所定値に設定する(STEP g)。この場合、目標空燃比KCMDとして設定する所定値は、例えばエンジン1の回転数NEや吸気圧PBからあらかじめ定められたマップ等を用いて決定する。

【0247】次いで、機関側制御ユニット7bは、前記局所的フィードバック制御部16において、前述の如くオブザーバ21によりLAFセンサ5の出力KACTから推定した各気筒毎の実空燃比#nA/Fに基づき、PID制御器22により、各気筒毎のばらつきを解消するようにフィードバック補正係数#nKLAFを算出する(STEP h)。さらに、大局的フィードバック制御部15により、フィードバック補正係数KFBを算出する(STEP i)。

【0248】この場合、大局的フィードバック制御部15は、前述の如く、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLAFと、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrとから、切換部20によってエンジン1の運転状態等に応じていずれか一方のフィードバック操作量KLAF又はkstrを選択し(通常的には適応制御器18側のフィードバック操作量kstrを選択する)、それを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正量数KFBとして出力する。

【0249】尚、フィードバック補正係数KFBを、PID制御器17側のフィードバック操作量KLAFから適応制御器18側のフィードバック操作量kstrに切り換える際には、該補正係数KFBの急変を回避するために、適応制御器18は、その切換えの際の制御サイクルに限り、補正係数KFBを前回の補正係数KFB(=KLAF)に保持するように、フィードバック操作量KSTRを求める。同様に、補正係数KFBを、適応制御器18側のフィードバック操作量kstrからPID制御器17側のフィードバック操作量KLAFに切り換える際には、PID制御器17は、自身が前回の制御サイクルで求めたフィードバック操作量KLAFが、前回の補正係数KFB(=kstr)であったものとして、今回の補正係数KLAFを算出する。

【0250】上記のようにしてフィードバック補正係数KFBが算出された後、さらに、前記STEP fあるいはSTEP gで決定された目標空燃比KCMDに応じた第2補

正係数KCMDM が第2補正係数算出部10により算出される(STEP j)。

【0251】次いで、機関側制御ユニット7bは、前述のように求められた基本燃料噴射量 T_{im} に、第1補正係数KTOTAL、第2補正係数KCMDM、フィードバック補正係数KFB、及び各気筒毎のフィードバック補正係数 nK_{LAF} を乗算することで、各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} を求める(STEP k)。そして、この各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} が、付着補正部23によって、エンジン1の吸気管の壁面付着を考慮した補正を施された後(STEP m)、エンジン1の図示しない燃料噴射装置に出力される(STEP n)。

【0252】そして、エンジン1にあっては、各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} に従って、各気筒への燃料噴射が行われる。

【0253】以上のような各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} の算出及びそれに応じたエンジン1への燃料噴射がエンジン1のクランク角周期に同期した制御サイクルで逐次行われ、これによりLAFセンサ5の出力KACT(空燃比の検出値)が、目標空燃比KCMDに収束するように、エンジン1の空燃比が操作される。この場合、特に、フィードバック補正係数KFBとして、適応制御器18側のフィードバック操作量 k_{str} を使用している状態では、エンジン1の運転状態の変化や特性変化等の挙動変化に対して、高い安定性を有して、LAFセンサ5の出力KACTが迅速に目標空燃比KCMDに収束制御される。また、エンジン1が有する応答遅れの影響も適正に補償される。

【0254】一方、前述のようなエンジン1の空燃比の操作と並行して、前記排気側制御ユニット7aの目標空燃比生成処理部28は、一定周期の制御サイクルで図8のフローチャートに示すメインルーチン処理を行う。

【0255】すなわち、図8のフローチャートを参照して、目標空燃比生成処理部28は、まず、自身の演算処理(前記同定器25、推定器26、及びスライディングモード制御器27の演算処理)を実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否を規定するフラグ $f/prism/cal$ の値を設定する(STEP 1)。このフラグ $f/prism/cal$ の値は、それが「0」のとき、目標空燃比生成処理部28における演算処理を行わないことを意味し、「1」のとき、目標空燃比生成処理部28における演算処理を行うことを意味する。

【0256】上記の判別処理は、図9のフローチャートに示すように行われる。

【0257】すなわち、 O_2 センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別が行われる(STEP 1-1, 1-2)。このとき、いずれかが活性化していない場合には、目標空燃比生成処理部28の演算処理に使用する O_2 センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグ $f/prism/ca$

1の値を「0」にセットする(STEP 1-6)。さらにこのとき、同定器25の後述する初期化を行うために、その初期化を行うか否かをそれぞれ「1」、「0」で表すフラグ $f/id/reset$ の値を「1」にセットする(STEP 1-7)。

【0258】また、エンジン1のリーン運転中(希薄燃焼運転)であるか否か、及びエンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否かの判別が行われる(STEP 1-3, 1-4)。これらのいずれかの条件が成立している場合には、 O_2 センサ6の出力 V_{O2}/OUT を目標値 $V_{O2}/TARGET$ に収束させるような目標空燃比KCMDを生成しても、それをエンジン1の燃料制御に使用することはないので、フラグ $f/prism/cal$ の値を「0」にセットする(STEP 1-6)。さらに同定器25の初期化を行うために、フラグ $f/id/reset$ の値を「1」にセットする(STEP 1-7)。

【0259】そして、STEP 1-1, 1-2の条件が満たされ、且つSTEP 1-3, 1-4の条件が成立していない場合には、フラグ $f/prism/cal$ の値を「1」にセットする(STEP 1-5)。

【0260】図8に戻って、上記のような判別処理を行った後、目標空燃比生成処理部28は、さらに、同定器25による前記ゲイン係数 a_1, a_2, b_1 の同定処理(同定値の更新処理)を実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否をそれぞれ「1」、「0」で表すフラグ $f/id/cal$ の値を設定する(STEP 2)。

【0261】このSTEP 2の判別処理では、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か、及びエンジン1のフェュエルカット中であるか否かの判別が行われる。これらのいずれかの条件が成立している場合には、前記ゲイン係数 a_1, a_2, b_1 を適正に同定することが困難であるため、フラグ $f/id/cal$ の値を「0」にセットする。そして、上記のいずれの条件も成立していない場合には、同定器25による前記ゲイン係数 a_1, a_2, b_1 の同定処理(同定値の更新処理)を実行すべくフラグ $f/id/cal$ の値を「1」にセットする。

【0262】図8に戻って、目標空燃比生成処理部28は、次に、前記減算処理部12, 13により、それぞれ最新の前記偏差出力 $kact(k)$ ($=KACT - FLAF/BASE$)及び $V_{O2}(k)$ ($=V_{O2}/OUT - V_{O2}/TARGET$)を算出する(STEP 3)。この場合、減算処理部12, 13は、前記図8のSTEP aにおいて取り込まれて図示しないメモリに記憶されたLAFセンサ5の出力KACT及び O_2 センサ6の出力 V_{O2}/OUT の時系列データの中から、最新のものを選択して前記偏差出力 $kact(k)$ 及び $V_{O2}(k)$ を算出する。また、偏差出力 $kact(k)$ の算出に必要な空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、基準値設定部11によって後述の如く設定される最新のものをを用いる。そして、これらの偏差出力 $kact(k)$ 及び $V_{O2}(k)$ のデータは、排気側制御ユニッ

ト7 a内において、過去に算出したものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0263】次いで、目標空燃比生成処理部28は、前記STEP1で設定されたフラグf/prism/calの値を判断する(STEP4)。このとき、f/prism/cal=0である場合、すなわち、目標空燃比生成処理部28の演算処理を行わない場合には、目標空燃比KCMDを決定するための前記指令偏差空燃比kcmdの値を強制的に所定値に設定する(STEP13)。この場合、該所定値は、例えばあらかじめ定めた固定値(例えば「0」)あるいは前回の制御サイクルで決定した指令偏差空燃比kcmdの値とする。尚、このように指令偏差空燃比kcmdを所定値とした場合において、目標空燃比生成処理部28は、その所定値の指令偏差空燃比kcmdに、前記加算処理部31で前記空燃比基準値FLAF/BASE(基準値設定部11で設定された最新のものを)を加算することで、今回の制御サイクルにおける目標空燃比KCMDを決定する(STEP11)。さらに、基準値設定部11により空燃比基準値FLAF/BASEの後述する設定処理を行った後(STEP12)、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0264】一方、STEP4の判断で、f/prism/cal=1である場合、すなわち、目標空燃比生成処理部28の演算処理を行う場合には、目標空燃比生成処理部28は、まず、前記同定器25による演算処理を行う(STEP5)。

【0265】この同定器25による演算処理は図10のフローチャートに示すように行われる。

【0266】すなわち、同定器25は、まず、前記STEP2で設定されたフラグf/id/calの値を判断する(STEP5-1)。このときf/id/cal=0であれば(エンジン1のスロットル弁が全開状態であるか、もしくはエンジン1のフュエルカット中の場合)、前述の通り同定器25によるゲイン係数a1, a2, b1の同定処理を行わないので、直ちに図9のメインルーチンに復帰する。

【0267】一方、f/id/cal=1であれば、同定器25は、さらに該同定器25の初期化に係わる前記フラグf/id/resetの値(これは、前記STEP1でその値が設定される)を判断し(STEP5-2)、f/id/reset=1である場合には、同定器25の初期化を行う(STEP5-3)。この初期化では、前記同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの各値があらかじめ定めた初期値に設定され(式(4)の同定ゲイン係数ベクトル θ の初期化)、また、前記式(9)の行列P(対角行列)の各成分があらかじめ定めた初期値に設定される。さらに、フラグf/id/resetの値は「0」にリセットされる。

【0268】次いで、同定器25は、現在の同定ゲイン係数a1(k-1)ハット、a2(k-1)ハット、b1(k-1)ハットを用いて表される排気系モデル(前記式(3)参照)の出力である前記同定偏差出力V02(k)ハットを、前記STEP3で制御サイクル毎に算出される偏差出力V02及び

kactの過去のデータV02(k-1)、V02(k-2)、kact(k-d-1)と、上記同定ゲイン係数a1(k-1)ハット、a2(k-1)ハット、b1(k-1)ハットの値とを用いて前記式(3)あるいはこれと等価の前記式(6)により算出する(STEP5-4)。

【0269】さらに同定器25は、新たな同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを決定する際に使用する前記ベクトル $K\theta(k)$ を式(9)により算出した後(STEP5-5)、前記同定誤差id/e(排気系モデル上でのO₂センサ6の同定偏差出力V02ハットと、実際の偏差出力V02との偏差。式(7)参照)を算出する(STEP5-6)。

【0270】ここで、STEP5-6で求める同定誤差id/eは、基本的には、前記式(7)の演算により算出すればよいのであるが、本実施形態では、前記STEP3(図8参照)で制御サイクル毎に算出する偏差出力V02と、前記STEP5-4で制御サイクル毎に算出する同定偏差出力V02ハットとから式(7)の演算により得られた値(=V02-V02ハット)に、さらにローパス特性のフィルタリングを施すことで同定誤差id/eを求める。

【0271】これは、触媒装置3を含む対象排気系Eは一般にローパス特性を有するため、前記排気系モデルのゲイン係数a1, a2, b1を適正に同定する上では、対象排気系Eの低周波数側の挙動を重視することが好ましいからである。

【0272】尚、このようなフィルタリングは、結果的に、偏差出力V02及び同定偏差出力V02ハットの両者に同じローパス特性のフィルタリングが施されていればよく、例えば偏差出力V02及び同定偏差出力V02ハットにそれぞれ各別にフィルタリングを施した後に式(7)の演算を行って同定誤差id/eを求めるようにしてもよい。また、前記のフィルタリングは、例えばデジタルフィルタの一手法である移動平均処理によって行われる。

【0273】上記のようにして同定誤差id/eを求めた後、同定器25は、この同定誤差id/eと、前記STEP5-5で算出した $K\theta$ とを用いて前記式(8)により新たな同定ゲイン係数ベクトル $\theta(k)$ 、すなわち、新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット、a2(k)ハット、b1(k)ハットを算出する(STEP5-7)。

【0274】このようにして新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット、a2(k)ハット、b1(k)ハットを算出した後、同定器25は、以下に説明する如く、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハット(同定ゲイン係数ベクトル θ の要素)の値を、所定の条件を満たすように制限する処理を行う(STEP5-8)。

【0275】この場合、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの値を制限するための前記所定の条件は、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限するための条件(以下、第1制限条件という)と、同定ゲイン係数b1ハットの値を

制限するための条件（以下、第2制限条件という）とがある。

【0276】ここで、これらの第1及び第2制限条件、並びにSTEP5-8の具体的な処理内容を説明する前に、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの値を制限する理由を説明しておく。

【0277】本願発明者等の知見によれば、本実施形態の装置において、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの値を特に制限しない場合には、O₂ センサ6の出力V02/OUTがその目標値V02/TARGETに安定して制御されている状態で、スライディングモード制御器27により求められる前記要求偏差空燃比us1、ひいては目標空燃比KCMDが平滑的な時間変化を呈する状況と、高周波振動的な時間変化を呈する状況との二種類の状況が生じることが判明した。この場合、いずれの状況においても、O₂ センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに制御する上では支障がないものの、目標空燃比KCMDが高周波振動的な時間変化を呈する状況は、エンジン1の円滑な運転を行う上では、あまり好ましくない。

【0278】そして、上記の現象について本願発明者等が検討したところ、前記要求偏差空燃比us1あるいは目標空燃比KCMDが平滑的なものとなるか高周波振動的なものとなるかは、同定器25により同定するゲイン係数a1、a2の値の組み合わせや、ゲイン係数b1の値の影響を受けることが判明した。

【0279】このために、本実施形態では、前記第1制限条件と第2制限条件とを適切に設定し、これらの条件により、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせや、同定ゲイン係数b1ハットの値を適切に制限することで、目標空燃比KCMDが高周波振動的なものとなるような状況を排除する。

【0280】この場合、本実施形態では前記第1制限条件及び第2制限条件は次のように設定する。

【0281】まず、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせを制限するための第1制限条件に関し、本願発明者等の検討によれば、平滑的で安定した要*

$$\overline{V02}(k+d) = a1 \cdot \overline{V02}(k) + a2 \cdot \overline{V02}(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot kcmand(k-j) \quad (40)$$

【0286】すなわち、式(40)により表される系が安定となる条件は、その系の極（これは、次式(41)により与えられる）が複素平面上の単位円内に存在する※ことである。

$$\text{式40の系の極} = \frac{a1 \pm \sqrt{a1^2 + 4 \cdot a2}}{2} \quad (41)$$

【0288】そして、図11の三角形領域Q₁、Q₄、Q₃は、上記の条件を満たす係数値α1、α2の組み合わせを規定する領域である。従って、前記推定係数安定領域は、前記式(40)により表される系が安定となるような係数値α1、α2の組み合わせのうち、α1 ≥ 0となる組み合わせとなる領域である。

* 求偏差空燃比us1や目標空燃比KCMDを得るためには、ゲイン係数a1、a2の値により定まる前記式(12)～(14)の係数値α1、α2、すなわち、前記推定器26が前記推定偏差出力V02(k+d)バーを求めるために使用する前記係数値α1、α2（これらの係数値α1、α2は前記式(12)中で定義した行列Aの中乗A^dの第1行第1列成分及び第1行第2列成分である）の組み合わせが密接に関連している。

【0282】具体的には、図11に示すように係数値α1、α2をそれぞれ成分とする座標平面を設定したとき、係数値α1、α2の組により定まる該座標平面上の点が図11の斜線を付した領域（三角形Q₁、Q₂、Q₃で囲まれた領域（境界を含む））。以下、この領域を推定係数安定領域という）に存するとき、要求偏差空燃比us1や目標空燃比KCMDが平滑的で安定したものとなりやすい。

【0283】従って、同定器25により同定するゲイン係数a1、a2の値、すなわち同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせは、これらの値により定まる係数値α1、α2の組に対応する図11の座標平面上的点が上記推定係数安定領域内に存するように制限することが好ましい。

【0284】尚、図11において、上記推定係数安定領域を含んで座標平面上に表した三角形領域Q₁、Q₄、Q₃は、次式(40)により定義される系、すなわち、前記式(12)の右辺のV02(k)及びV02(k-1)をそれぞれV02(k)バー及びV02(k-1)バー（これらのV02(k)バー及びV02(k-1)バーは、それぞれ、推定器26により制御サイクル毎に求められる推定偏差出力及びその1制御サイクル前に求められる推定偏差出力を意味する）により置き換えてなる式により定義される系が、理論上、安定となるような係数値α1、α2の組み合わせを規定する領域である。

【0285】
【数40】

※ことである。
【0287】
【数41】

【0289】一方、係数値α1、α2は、ゲイン係数a1、a2の値の組み合わせにより定まるので、逆算的に、係数値α1、α2の組み合わせからゲイン係数a1、a2の値の組み合わせも定まる。従って、係数値α1、α2の好ましい組み合わせを規定する図11の推定係数安定領域は、ゲイン係数a1、a2を座標成分とする図

12の座標平面上に変換することができる。この変換を行うと、該推定係数安定領域は、図12の座標平面上では、例えば図12の仮想線で囲まれた領域（下部に凹凸を有する大略三角形形状の領域。以下、同定係数安定領域という）に変換される。すなわち、ゲイン係数 a_1 , a_2 の値の組により定まる図12の座標平面上の点が、同図の仮想線で囲まれた同定係数安定領域に存するとき、それらのゲイン係数 a_1 , a_2 の値により定まる係数値 α_1 , α_2 の組に対応する図11の座標平面上の点が前記推定係数安定領域内に存することとなる。

【0290】従って、同定器25により求める同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値を制限するための前記第1制限条件は、基本的には、それらの値により定まる図12の座標平面上の点が前記同定係数安定領域に存することとして設定することが好ましい。

【0291】但し、図12に仮想線で示した同定係数安定領域の境界の一部（図の下部）は凹凸を有する複雑な形状を呈しているため、実用上、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値により定まる図12の座標平面上の点を同定係数安定領域内に制限するための処理が煩雑なものとなりやすい。

【0292】そこで、本実施形態では、同定係数安定領域を、例えば図12の実線で囲まれた四角形 Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 の領域（境界を直線状に形成した領域。以下、同定係数制限領域という）により大略近似する。この場合、この同定係数制限領域は、図示の如く、 $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により表される折れ線（線分 Q_1 , Q_2 及び線分 Q_3 , Q_4 を含む線）と、 $a_1 = A1L$ （ $A1L$ ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分 Q_2 , Q_3 を含む直線）と、 $a_2 = A2L$ （ $A2L$ ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分 Q_3 , Q_4 を含む直線）とにより囲まれた領域である。そして、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値を制限するための前記第1制限条件を、それらの値により定まる図12の座標平面上の点が上記同定係数制限領域に存することとして設定する。この場合、同定係数制限領域の下辺部の一部は、前記同定係数安定領域を逸脱しているものの、現実には同定器25が求める同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値により定まる点は上記の逸脱領域には入らないことを実験的に確認している。従って、上記の逸脱領域があっても、実用上は支障がない。

【0293】尚、このような同定係数制限領域の設定の仕方は例示的なもので、該同定係数制限領域は、基本的には、前記同定係数安定領域に等しいか、もしくは該同定係数安定領域を大略近似し、あるいは、同定係数制限領域の大部分もしくは全部が同定係数安定領域に属するように設定すれば、どのような形状のものに設定してもよい。つまり、同定係数制限領域は、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値の制限処理の容易さ、実際上の制御性等を考慮して種々の設定が可能である。例えば本実

施形態では、同定係数制限領域の上半部の境界を $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により規定しているが、この関数式を満たすゲイン係数 a_1 , a_2 の値の組み合わせは、前記式（41）により与えられる系の極が複素平面上の単位円周上に存するような理論上の安定限界の組み合わせである。従って、同定係数制限領域の上半部の境界を例えば $|a_1| + a_2 = r$ （但し、 r は上記の安定限界に対応する「1」よりも若干小さい値で、例えば0.99）なる関数式により規定し、制御の安定性をより高めるようにしてもよい。

【0294】また、前記同定係数制限領域の基礎となる図12の同定係数安定領域も例示的なものであり、図11の推定係数安定領域に対応する同定係数安定領域は、係数値 α_1 , α_2 の定義から明らかなように（式（12）を参照）、前記合計無駄時間 d （より正確にはその設定値）の影響も受け、該合計無駄時間 d の値によって、同定係数安定領域の形状が変化する。この場合、同定係数安定領域がどのような形状のものであっても、前記同定係数制限領域は、同定係数安定領域の形状に合わせて前述の如く設定すればよい。

【0295】次に、同定器25が同定する前記ゲイン係数 b_1 の値、すなわち同定ゲイン係数 b_1 ハットの値を制限するための前記第2制限条件は本実施形態では次のように設定する。

【0296】すなわち、本願発明者等の知見によれば、前記目標空燃比 $KCMD$ の時間的变化が高周波振動的なものとなる状況は、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値が過大もしくは過小となるような場合にも生じ易い。そこで、本実施形態では、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値の上限値 $B1H$ 及び下限値 $B1L$ （ $B1H > B1L > 0$ ）をあらかじめ実験やシミュレーションを通じて定めておく。そして、前記第2制限条件を、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値が上限値 $B1H$ 以下で且つ下限値 $B1L$ 以上の値になること（ $B1L \leq b_1 \text{ ハット} \leq B1H$ の不等式を満たすこと）として設定する。

【0297】以上説明した如く設定した第1制限条件及び第2制限条件により同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハット、 b_1 ハットの値を制限するための前記STEP5-8の処理は、具体的には次のように行われる。

【0298】すなわち、図13のフローチャートを参照して、同定器25は、前記図10のSTEP5-7で前述の如く求めた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット、 $b_1(k)$ ハットについて、まず、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値の組み合わせを前記第1制限条件により制限するための処理をSTEP5-8-1~5-8-8で行う。

【0299】具体的には、同定器25は、まず、STEP5-8で求めた同定ゲイン係数 $a_2(k)$ ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_2 の下限値 $A2L$ （図12参照）以上の値であるか否かを判断する（S

10

20

30

40

50

STEP 5-8-1)。

【0300】このとき、 $a_2(k)$ ハット $< A_{2L}$ であれば、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値の組により定まる図12の座標平面上の点（以下、この点を（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）で表す）が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a_2(k)$ ハットの値を強制的に上記下限値 A_{2L} に変更する（STEP 5-8-2）。この処理により、図12の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、少なくとも $a_2 = A_{2L}$ により表される直線（線分 Q_7 、 Q_8 を含む直線）の上側（該直線上を含む）の点に制限される。

【0301】次いで、同定器25は、STEP 5-7で求めた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の下限値 A_{1L} （図12参照）以上の値であるか否か、並びに、同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の上限値 A_{1H} （図12参照）以下の値であるか否かを順次判断する（STEP 5-8-3、5-8-5）。尚、同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の上限値 A_{1H} は、図12から明らかなように折れ線 $|a_1| + a_2 = 1$ （但し $a_1 > 0$ ）と、直線 $a_2 = A_{2L}$ との交点 Q_8 の a_1 座標成分であるので、 $A_{1H} = 1 - A_{2L}$ である。

【0302】このとき、 $a_1(k)$ ハット $< A_{1L}$ である場合、あるいは、 $a_1(k)$ ハット $> A_{1H}$ である場合には、図12の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a_1(k)$ ハットの値をそれぞれの場合に応じて、強制的に上記下限値 A_{1L} あるいは上限値 A_{1H} に変更する（STEP 5-8-4、5-8-6）。

【0303】この処理により、図12の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、 $a_1 = A_{1L}$ により表される直線（線分 Q_6 、 Q_7 を含む直線）と、 $a_1 = A_{1H}$ により表される直線（点 Q_8 を通って a_1 軸に直行する直線）との間の領域（両直線上を含む）に制限される。

【0304】尚、STEP 5-8-3及び5-8-4の処理と、STEP 5-8-5及び5-8-6の処理とは順番を入れ替えてもよい。また、前記STEP 5-8-1及び5-8-2の処理は、STEP 5-8-3～5-8-6の処理の後に行うようにしてもよい。

【0305】次いで、同定器25は、前記STEP 5-8-1～5-8-6の処理を経た現在の $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値が $|a_1| + a_2 \leq 1$ なる不等式を満たすか否か、すなわち、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により表される折れ線（線分 Q_5 、 Q_6 及び線分 Q_7 、 Q_8 を含む線）の下側（折れ線上を含む）にあるか上側にあるかを判断する（STEP 5-8-7）。

【0306】このとき、 $|a_1| + a_2 \leq 1$ なる不等式が成立しておれば、前記STEP 5-8-1～5-8-6の処理を経た $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値により定ま

る点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、同定係数制限領域（その境界を含む）に存している。

【0307】一方、 $|a_1| + a_2 > 1$ である場合は、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が、同定係数制限領域からその上方側に逸脱している場合であり、この場合には、 $a_2(k)$ ハットの値を強制的に、 $a_1(k)$ ハットの値に応じた値（ $1 - |a_1(k)|$ ハット）に変更する（STEP 5-8-8）。換言すれば、 $a_1(k)$ ハットの値を現状に保持したまま、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）を $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により表される折れ線上（同定係数制限領域の境界である線分 Q_5 、 Q_6 上、もしくは線分 Q_7 、 Q_8 上）に移動させる。

【0308】以上のようなSTEP 5-8-1～5-8-8の処理によって、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値は、それらの値により定まる点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域内に存するように制限される。尚、前記STEP 5-7で求められた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値に対応する点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域内に存する場合は、それらの値は保持される。

【0309】この場合、前述の処理によって、前記排気系モデルの1次目の自己回帰項に係る同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットに関しては、その値が、同定係数制限領域における下限値 A_{1L} 及び上限値 A_{1H} の間の値となっている限り、その値が強制的に変更されることはない。また、 $a_1(k)$ ハット $< A_{1L}$ である場合、あるいは、 $a_1(k)$ ハット $> A_{1H}$ である場合には、それぞれ、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値は、同定係数制限領域においてゲイン係数 a_1 が採りうる最小値である下限値 A_{1L} と、同定係数制限領域においてゲイン係数 a_1 が採りうる最大値である下限値 A_{1H} とに強制的に変更されるので、これらの場合における同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値の変更量は最小なものとなる。つまり、STEP 5-7で求められた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値に対応する点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域から逸脱している場合には、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値の強制的な変更は最小限に留められる。

【0310】このようにして、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値を制限したのち、同定器25は、同定ゲイン係数 $b_1(k)$ ハットの値を前記第2制限条件に従って制限する処理をSTEP 5-8-9～5-8-12で行う。

【0311】すなわち、同定器25は、前記STEP 5-7で求めた同定ゲイン係数 $b_1(k)$ ハットの値が、前記下限値 B_{1L} 以上であるか否かを判断し（STEP 5-8-9）、 $B_{1L} > b_1(k)$ ハットである場合には、 $b_1(k)$ ハットの値を強制的に上記下限値 B_{1L} に変更する（STEP 5-8-10）。

【0312】さらに、同定器25は、同定ゲイン係数 $b_1(k)$ ハットの値が、前記上限値 B_{1H} 以上であるか否かを

10

20

30

40

50

判断し (STEP 5-8-11)、 $B1H < b1(k)$ ハットである場合には、 $b1(k)$ ハットの値を強制的に上記上限値 $B1H$ に変更する (STEP 5-8-12)。

【0313】このような STEP 5-8-9~5-8-12 の処理によって、同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値は、下限値 $B1L$ 及び上限値 $B1H$ の間の範囲の値に制限される。

【0314】このようにして、同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットの値の組み合わせと同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値とを制限した後は、同定器 25 の処理は図 10 のフローチャートの処理に復帰する。

【0315】尚、図 10 の STEP 5-7 で同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットを求めるために使用する同定ゲイン係数の前回値 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットは、前回の制御サイクルにおける STEP 5-10 の処理で前述の如く第 1 及び第 2 制限条件により制限を行った同定ゲイン係数の値である。

【0316】図 10 の説明に戻って、前述のように同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットのリミット処理を行った後、同定器 25 は、次回の制御サイクルの処理のために前記行列 $P(k)$ を前記式 (10) により更新し (STEP 5-9)、図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。

【0317】以上が図 8 の STEP 5 における同定器 25 の演算処理である。

【0318】図 8 のメインルーチン処理の説明に戻って、前述の通り同定器 25 の演算処理を行った後、目標空燃比生成処理部 28 はゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値を決定する (STEP 6)。

【0319】この処理では、前記 STEP 2 で設定されたフラグ $f/id/cal$ の値が「1」である場合、すなわち、同定器 25 によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行った場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値として、それぞれ前記 STEP 5 で前述の通り同定器 25 により求められた同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハット (STEP 5-8 の制限処理を施したもの) を設定する。また、 $f/id/cal = 0$ である場合、すなわち、同定器 25 によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行わなかった場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値をそれぞれあらかじめ定めた所定値とする。

【0320】次いで、目標空燃比生成処理部 28 は、図 8 のメインルーチンにおいて、前記推定器 26 による演算処理 (推定偏差出力 $V02$ バーの算出処理) を行う (STEP 7)。

【0321】この推定器 26 の演算処理は図 14 のフローチャートに示すように行われる。すなわち、推定器 26 は、前記図 8 の STEP 6 で決定されたゲイン係数 $a1, a2, b1$ (これらの値は基本的には、前記図 10 の STEP 5-8 の制限処理を経た同定ゲイン係数 $a1$ ハット、

$a2$ ハット、 $b1$ ハットである) を用いて、前記式 (13) で使用する係数値 $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$ ($j = 1 \sim d$) を前述したように算出する (STEP 7-1)。

【0322】次いで、推定器 26 は、前記図 8 の STEP 3 で制御サイクル毎に算出される O_2 センサの偏差出力 $V02$ の現在の制御サイクル以前の時系列データ $V02(k), V02(k-1)$ 、並びに LAF センサ 5 の偏差出力 $kact$ の現在の制御サイクル以前の時系列データ $kact(k-j)$

($j = 0 \sim d1$) と、後述の如く前記リミッタ 30 によって制御サイクル毎に決定される前記指令偏差空燃比 $kcmd$ (要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施したもの) の前回の制御サイクル以前の時系列データ $kcmd(k-j)$ ($= usl(k-j)$)。($j = 1 \sim d2-1$) と、上記の如く算出した係数 $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$ とを用いて前記式 (13) により、推定偏差出力 $V02(k+d)$ バー (今回の制御サイクルの時点から前記合計無駄時間 d 後の偏差出力 $V02$ の推定値) を算出する (STEP 7-2)。

【0323】図 8 の説明に戻って、目標空燃比生成処理部 28 は、次に、スライディングモード制御器 27 によって、前記要求偏差空燃比 usl を算出する (STEP 8)。

【0324】この要求偏差空燃比 usl の算出は、図 15 のフローチャートに示すように行われる。

【0325】すなわち、スライディングモード制御器 27 は、まず、前記 STEP 7 で推定器 26 により求められた推定偏差出力 $V02$ バーの時系列データ $V02(k+d)$ バー、 $V02(k+d-1)$ バーを用いて、前記式 (25) により定義された切換関数 σ バーの今回の制御サイクルから前記合計無駄時間 d 後の値 $\sigma(k+d)$ バー (これは、式 (15) で定義された切換関数 σ の合計無駄時間 d 後の推定値に相当する) を算出する (STEP 8-1)。

【0326】尚、この場合、切換関数 σ バーが過大であると、この切換関数 σ バーの値に応じて定まる前記到達則入力 $urch$ の値が過大となり、また、前記適応則入力 $uadp$ の急変が生じてスライディングモード制御器 27 の制御処理が不安定なものとなる虞がある。このため、本実施形態では、切換関数 σ バーの値があらかじめ定めた所定範囲内に収まるようにし、上記のように式 (25) により求めた σ バーの値が、該所定範囲の上限値又は下限値を超えた場合には、それぞれ σ バーの値を強制的に該上限値又は下限値に設定する。

【0327】次いで、スライディングモード制御器 27 は、上記 STEP 8-1 で制御サイクル毎に算出される切換関数 σ バーの値 (より正確には σ バーの値に排気側制御ユニット 7a の制御サイクルの周期 (一定周期) を乗算したもの) を累積的に加算していく (前回の制御サイクルで求められた加算結果に今回の制御サイクルで算出された σ バーの値を加算する) ことで、 σ バーの積算値 (これは式 (27) の右端の項に相当する) を算出する (STEP 8-2)。

【0328】尚、この場合、 σ バーの積算値に応じて定まる前記適応則入力 u_{adp} が過大なものとなるのを回避するため、前記STEP8-1の場合と同様、 σ バーの積算値があらかじめ定めた所定範囲内に収まるようにし、上記の累積加算により求まる $\sigma(k+d)$ バーの積算値が該所定範囲の上限値又は下限値を超えた場合には、それぞれ $\sigma(k+d)$ バーの積算値を強制的に該上限値又は下限値に制限する。

【0329】次いで、スライディングモード制御器27は、前記STEP7で推定器26により求められた推定偏差出力V02バーの時系列データV02(k+d)バー、V02(k+d-1)バーと、STEP8-1及び8-2でそれぞれ求められた切換関数の値 $\sigma(k+d)$ バー及びその積算値と、STEP6で決定したゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 （これらの値は基本的には、前記図10のSTEP5-8の制限処理を経た同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハット、 b_1 ハットである）とを用いて、前記式(24)、(26)、(27)に従って、それぞれ等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} を算出する(STEP8-3)。

【0330】さらにスライディングモード制御器27は、STEP8-3で求めた等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} を加算することで、前記要求偏差空燃比 u_{sl} 、すなわち、O₂センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに収束させる上で対象排気系Eに与えるべき入力を算出する(STEP8-4)。

【0331】これがSTEP8におけるスライディングモード制御器27の処理内容である。

【0332】図8に戻って、目標空燃比生成処理部28は、次に、前記リミッタ30による処理を行う。この場合、該リミッタ30は、前述の如くスライディングモード制御器27が算出する要求偏差空燃比 u_{sl} にリミット処理を施すに先立って、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御を用いて制御するO₂センサ6の出力V02/OUTの状態（対象排気系Eの出力状態。以下、これをSLD制御状態という）の安定性を判別する処理を行う(STEP9)。

【0333】ここで、この安定性の判別処理の詳細を具体的に説明する前に、該判別処理の概要を説明しておく。

【0334】本実施形態では、排気側制御ユニット7の各制御サイクルにおいてスライディングモード制御器27が前述の如く前記STEP8-1で求める切換関数 σ バーの値（今回値） $\sigma(k+d)$ バーとその1制御サイクル前の値（前回値） $\sigma(k+d-1)$ バーとの偏差 $\Delta\sigma$ バー（これは切換関数 σ バーの値の変化速度に相当する）と、切換関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーとの積 $\sigma(k+d)$ バー・ $\Delta\sigma$ バーを前記SLD制御状態の安定性を判別するための基本パラメータとして用いる（以下、 $\sigma(k+d)$ バー・ $\Delta\sigma$ バーを安定性判別基本パラメータPstbとい

う）。

【0335】この安定性判別基本パラメータPstb（= $\sigma(k+d)$ バー・ $\Delta\sigma$ バー）は、切換関数 σ バーに関する所謂リアプノフ関数 σ バー²/2の時間微分値に相当するものであり、基本的には、Pstb \leq 0となる状態は、切換関数 σ バーの値が「0」に収束しているかもしくは収束しつつある状態（前記推定偏差出力V02バーの時系列データV02(k+d)バー、V02(k+d-1)バーからなる状態量が超平面 σ バー=0に収束しているかもしくは収束しつつある状態）である。また、Pstb > 0となる状態は、基本的には、切換関数 σ バーの値が「0」から離間しつつある状態（前記推定偏差出力V02バーの時系列データV02(k+d)バー、V02(k+d-1)バーからなる状態量が超平面 σ バー=0から離間しつつある状態）である。

【0336】従って、上記安定性判別基本パラメータPstbの値が「0」以下であるか否かによって前記SLD制御状態が安定であるか否かを判断することができる。

【0337】但し、安定性判別基本パラメータPstbの値を「0」と比較することでSLD制御状態の安定性を判断すると、 σ バーの値に僅かなノイズが含まれただけで、安定性の判別結果に影響を及ぼしてしまう。また、制御サイクル毎に安定性判別基本パラメータPstbの値によって、安定性の判別結果を確定すると、その判断結果が頻繁に変わり過ぎる虞がある。

【0338】このため、本実施形態では、制御サイクル毎に安定性判別基本パラメータPstbの値が「0」よりも若干大きな正の値に定めた所定値 ε 以下であるか否かによってSLD制御状態が安定であるか否を暫定的に判断する。また、制御サイクルよりも長い所定期間づつ、SLD制御状態が安定性判別基本パラメータPstbの値によって暫定的に不安定と判断される頻度cnt/judst

（より詳しくは所定期間内においてPstb > ε となる制御サイクルの回数。以下、暫定不安定判断頻度cnt/judstという）を計測し、その暫定不安定判断頻度cnt/judstをあらかじめ定めた所定の閾値と比較することでSLD制御状態が安定であるか否かを判断するようにしている。

【0339】この場合、本実施形態では、前記暫定不安定判断頻度cnt/judstと比較する前記閾値は、第1閾値SSTB1と第2閾値SSTB2との二種類（SSTB1 < SSTB2）があり、暫定不安定判断頻度cnt/judstが第1閾値SSTB1以下（cnt/judst \leq SSTB1）であるときにはSLD制御状態が安定であると判断する。また、cnt/judst > SSTB1であるときには、SLD制御状態が不安定であると判断する。さらにSLD制御状態が不安定であると判断する場合（cnt/judst > SSTB1の場合）にあっては、暫定不安定判断頻度cnt/judstが第2閾値SSTB2以下（cnt/judst \leq SSTB2）であるときにはSLD制御状態の不安定さの度合いが低い（以下、この状態を低レベル不安定状態という）と判断し、cnt/judst > SSTB2であると

きには、SLD制御状態の不安定さの度合いが高い（以下、この状態を高レベル不安定状態という）と判断する。つまり、本実施形態にあっては、SLD制御状態が不安定であると判断する場合には、さらに暫定不安定判断頻度cnt/judstの値によって、不安定さの度合い（程度）も分別して判断するようにしている。

【0340】以上説明したことを考慮しつつ前記STEP 9における安定性の判別処理をより詳細に説明する。

【0341】この判別処理は図16のフローチャートに示すように行われる。

【0342】すなわち、リミッタ30は、まず、スライディングモード制御器27が前記STEP 8-1で求めた切換関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーと前回値 $\sigma(k+d-1)$ バーとから、前述の如く定義した前記安定性判別基本パラメータPstb（ $=\sigma(k+d)$ バー $\cdot \Delta \sigma$ バー）を算出する（STEP 9-1）。

【0343】次いで、リミッタ30は、前記図7のSTEP d-11において初期化された前記タイマカウンタtm/stb（カウントダウンタイマ）の値が「0」になったか否か、すなわち、目標空燃比生成処理部28が生成する目標空燃比KCMDによるエンジン1の空燃比の操作（O₂センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御。以下、これを空燃比操作排気系出力制御ということがある）を開始してから経過時間がタイマカウンタtm/stbの初期値TMSTBにより表される所定時間に達したか否かを判断する（STEP 9-2）。

【0344】このとき、tm/stb $\neq 0$ で前記空燃比操作排気系出力制御を開始してから経過時間が所定時間（：TMSTB）に満たない場合（空燃比操作排気系出力制御の開始直後の状態）には、前記暫定不安定判断頻度cnt/judstの計測等、SLD制御状態の安定性の判別を行うことなく、STEP 9-3の処理を行って、図8のメインルーチンに復帰する。

【0345】上記STEP 9-3では、前記暫定不安定判断頻度cnt/judstの計測を行う前記所定期間を計時するタイマカウンタtm/judst（カウントダウンタイマ）の値を該所定期間の時間に相当する所定の初期値TMJUDSTに設定する。また、このSTEP 9-4では、暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を「0」に初期化する。さらに、該STEP 9-4では、SLD制御状態が安定であるか否かをそれぞれ値「0」、「1」で表すフラグf/stb1の値を「0」に初期化すると共に、SLD制御状態が前記低レベル不安定状態であるか高レベル不安定状態であるかをそれぞれ値「0」、「1」で表すフラグf/stb2の値を「0」に初期化する。

【0346】一方、前記STEP 9-2で、タイマtm/stbの値が「0」である場合、すなわち前記空燃比操作排気系出力制御を開始してから経過時間がタイマtm/stbの初期値TMSTBにより表される所定時間に達した場合には、リミッタ30は、前記安定性判別基本パラメータP

stbを所定値 ε （ >0 ）と比較する（STEP 9-4）。このとき、Pstb $\leq \varepsilon$ である場合には、SLD制御状態が暫定的に安定であるとして、前記暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を現状の値（前回値）に保持する（STEP 9-5）。また、Pstb $> \varepsilon$ である場合には、SLD制御状態が暫定的に不安定であるとして、前記暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を現状の値（前回値）に「1」を加算した値に増加させる（STEP 9-6）。

10 【0347】次いで、リミッタ30は、STEP 9-5又は9-6で決定した今回の制御サイクルにおける暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を前記第1閾値SSTB1と比較する（STEP 9-7）。このとき、cnt/judst \leq SSTB1である場合には、SLD制御状態が安定であるとして、前記フラグf/stb1（以下、安定判別フラグf/stb1）の値を「0」に設定する（STEP 9-8）。

20 【0348】また、cnt/judst $>$ SSTB1である場合（SLD制御状態が不安定である場合）には、リミッタ30はさらに暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を前記第2閾値SSTB2と比較する（STEP 9-9）。このとき、cnt/judst \leq SSTB2である場合には、SLD制御状態が低レベル不安定状態であるとして、前記安定判別フラグf/stb1の値を「1」に設定する（STEP 9-10）。また、cnt/judst $>$ SSTB2である場合には、SLD制御状態が高レベル不安定状態であるとして、前記安定判別フラグf/stb1の値を「1」に設定すると共に前記フラグf/stb2（以下、不安定レベル判別フラグf/stb2という）の値を「1」に設定する（STEP 9-11）。

30 【0349】次いで、リミッタ30は、前記タイマカウンタtm/judstの値を現在値（前回値）から「1」だけ減少させた値に更新した後（STEP 9-12）、この更新後のタイマカウンタtm/judstの値が「0」になったか否か、すなわち、タイマカウンタtm/judstの初期値TMJUDSTにより表される所定期間を経過したか否かを判断する（STEP 9-13）。

【0350】このとき、tm/judst $\neq 0$ でまだ所定期間（：TMJUDST）を経過していない場合（タイマカウンタtm/judstが未だタイムアップしていない場合）には、図8のメインルーチンの処理に復帰する。

40 【0351】一方、tm/judst $=0$ で、所定期間（：TMJUDST）を経過した場合（タイマカウンタtm/judstがタイムアップした場合）には、リミッタ30はさらに、前記安定判別フラグf/stb1の値を判断する（STEP 9-14）。このとき、f/stb1 $=1$ である場合には、前記タイマカウンタtm/judstの値をその初期値TMJUDSTにリセットすると共に、暫定不安定判断頻度cnt/judstの値を「0」にリセットした後（STEP 9-16）、図8のメインルーチンの処理に復帰する。

50 【0352】また、STEP 9-14でf/stb1 $=0$ である場合、すなわち、今回の制御サイクルでSLD制御状

態が安定であると判断した場合には、前記不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値を「0」にリセットした後（STEP 9-15）、前記STEP 9-16の処理を経てメインルーチンの処理に復帰する。

【0353】以上説明したSLD制御状態の安定性の判別処理における安定性判別基本パラメータ $Pstb$ 、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ 、安定判別フラグ $f/stb1$ 、及び不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値の変化の様子の様子をそれぞれ図17の第1～4段に例示的に示す。尚、図17の第1段では、安定性判別基本パラメータ $Pstb$ の値は、説明の便宜上、「0」以上の値のみ採るように

なっているが、実際には負の値も採り得る。
【0354】同図17のように、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ 、すなわち、安定性判別基本パラメータ $Pstb$ の値が $Pstb > \epsilon$ となる頻度（回数）は、所定期間（：TMJUDST）づつ計測され、該所定期間（：TMJUDST）が経過する毎に「0」にリセットされる（前記STEP 9-16を参照）。そして、図中の期間T1あるいはT2に示すように、所定期間内で暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が第1閾値SSTB1に達しないような場合、すなわち、安定性判別基本パラメータ $Pstb$ の値が所定値 ϵ を超えるような状況が生じないか、もしくは、そのような状況が一時的にしか生じない場合には、SLD制御状態が安定であると判断され、安定判別フラグ $f/stb1$ の値が「0」に設定される（前記STEP 9-7、9-8を参照）。

【0355】また、図中の期間T3に示すように、所定期間内で安定性判別基本パラメータ $Pstb$ の値が所定値 ϵ を超えるような状況がある程度継続したり、あるいはそのような状況がある程度頻繁に発生し、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が第1閾値SSTB1を超えたような場合には、SLD制御状態が低レベル不安定状態であると判断され、安定判別フラグ $f/stb1$ の値が「1」に設定される（前記STEP 9-9、9-10を参照）。但し、この場合、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が所定期間毎にリセットされることに伴い、安定判別フラグ $f/stb1$ の値も所定期間毎に「0」にリセットされることとなる。

【0356】また、図中の期間T4に示すように、所定期間内で安定性判別基本パラメータ $Pstb$ の値が所定値 ϵ を超えるような状況が比較的長い時間継続したり、あるいはそのような状況が頻繁に発生し、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が第2閾値SSTB2を超えたような場合には、SLD制御状態が高レベル不安定状態であると判断され、安定判別フラグ $f/stb1$ の値が「1」に設定されると共に不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値が「1」に設定される（前記STEP 9-11を参照）。この場合にあっては、不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値は、次回の所定期間（期間T5）の間中、暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値にかかわらず「1」に維持される。そ

して、この次回の所定期間（期間T5）の間中、継続して暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が第1閾値SSTB1以下に維持され、安定判別フラグ $f/stb1$ の値が「0」に維持された場合にのみ、この期間T5の終了時に不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値が「0」にリセットされる（前記STEP 9-14、9-15を参照）。つまり、ある所定期間内でSLD制御状態が高レベル不安定状態であると判断された場合には、その次の所定期間の間中、継続して暫定不安定判断頻度 $cnt/judst$ の値が第1閾値SSTB1以下に維持されない限り、不安定レベル判別フラグ $f/stb2$ の値は高レベル不安定状態を表す「1」に維持され、実質的に高レベル不安定状態であるとの判断が継続することとなる。

【0357】図8に戻って、目標空燃比生成処理部28のリミッタ30は、前述の如くSLD制御状態の安定性の判別処理を行った後、前記STEP 8でスライディングモード制御器27が算出した要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施して前記指令偏差空燃比 $kcmd$ を決定する（STEP 10）。

【0358】ここで、上記リミット処理の詳細を具体的に説明する前に、該リミット処理で用いる許容範囲について説明しておく。

【0359】リミッタ30が行うリミット処理は、最終的に機関側制御ユニット7aに与えるべき目標空燃比 $KCMD$ を規定する指令偏差空燃比 $kcmd$ を所定の許容範囲内に収めるために、要求偏差空燃比 usl がその許容範囲の上限値あるいは下限値を超えて該許容範囲を逸脱している場合にそれぞれ指令偏差空燃比 $kcmd$ を強制的に該許容範囲の上限値、下限値に設定する処理である。そして、要求偏差空燃比 usl が許容範囲内に収まっている場合には、該要求偏差空燃比 usl をそのまま指令偏差空燃比 $kcmd$ として設定する処理である。

【0360】この場合、本実施形態では、このリミット処理に用いる許容範囲には、図18に示す如く複数種類のものがあり、前記STEP 8におけるSLD制御状態の安定性の判別結果が低レベル不安定状態（ $f/stb1 = 1$ 且つ $f/stb2 = 0$ の場合）であるときに（但しエンジン1のアイドル状態である場合を除く）、要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いる低不安定用許容範囲と、SLD制御状態の安定性の判別結果が高レベル不安定状態（ $f/stb2 = 1$ の場合）であるときに、要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いる高不安定用許容範囲とがある。

【0361】さらに、このリミット処理用の許容範囲には、上記のようにSLD制御状態の安定性の判別結果が低レベル不安定状態又は高レベル不安定状態となる場合を除いて、エンジン1のフューエルカットを行った直後の状態（詳しくは、エンジン1のフューエルカットの終了後、所定時間が経過するまでの状態）で要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いるFC後許容範囲と、エンジ

10

20

30

40

50

ン1の始動直後の状態（詳しくはエンジン1の始動後、所定時間が経過するまでの状態）で要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いる始動後許容範囲とがある。尚、本実施形態では、FC後許容範囲と始動後許容範囲とは同一形態の許容範囲であり、以下の説明ではこれらを合わせてFC/始動後許容範囲という。

【0362】また、要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲には、SLD制御状態の安定性の判別結果が低レベルもしくは高レベル不安定状態となる場合、並びに、エンジン1のフュエルカット直後の状態もしくは始動直後の状態である場合を除いて、エンジン1を搭載した車両の発進直後の状態（詳しくは、エンジン1がその負荷である車両の駆動輪の駆動を開始した後、所定時間が経過するまでの状態）であるときに、要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いる負荷駆動後許容範囲と、SLD制御状態の安定性の判別結果が高レベル不安定状態となる場合、並びに、エンジン1のフュエルカット直後の状態もしくは始動直後の状態である場合を除いて、エンジン1のアイドル状態であるときに、要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いるアイドル許容範囲とがある。

【0363】さらには、要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲には、上記の各許容範囲に対応する状態を除く通常の状態において、要求偏差空燃比 usl のリミット処理に用いる適応許容範囲とがある。

【0364】ここで、前記低不安定用許容範囲は、その上限値及び下限値を、それぞれあらかじめ定めた固定的な所定値H、L（以下、所定値Hを上限側第3所定値H、所定値Lを下限側第4所定値という）とした固定的な許容範囲である。この低不安定用許容範囲は、その上限側及び下限側の両者について、前述の各許容範囲の中では、標準的（中間的）な広さを有するものとされている。

【0365】また、前記高不安定用許容範囲は、その上限値及び下限値を、それぞれあらかじめ定めた固定的な所定値STBH、STBL（以下、所定値STBHを上限側第1所定値STABH、所定値STBLを前記下限側第1所定値STABL）とした固定的な許容範囲である。この高不安定用許容範囲は、その上限側及び下限側の両者について、前述の各許容範囲の中では最も狭いものとされている。

【0366】また、前記アイドル許容範囲は、その上限値及び下限値を、それぞれ固定的な所定値HI、LI（以下、所定値HIを上限側第2所定値HI、所定値LIを下限側第3所定値という）とした固定的な許容範囲である。このアイドル許容範囲は、その上限側及び下限側の両者について、比較的狭い（本実施形態では低不安定用許容範囲よりも狭い）ものとされている。

【0367】また、前記FC/始動後許容範囲は、その上限値を固定的な所定値AFCH（以下、上限側第5所定値という）とすると共に、下限値を、前記下限側第1所定

値STABLとこれよりも小さな所定値LL（以下、下限側第5所定値LLという）との間で該許容範囲に対する前記要求偏差空燃比 usl の逸脱状況に応じて逐次（制御サイクル毎に）可変的に設定するようにした許容範囲である。この場合、該FC/始動後許容範囲の上限側は、前述の各許容範囲の中では最も広いものとされている。尚、FC/始動後許容範囲の下限値については、エンジン1のアイドル状態では、可変的な設定は行われず、前記アイドル許容範囲の下限値である下限側第3所定値LIに設定される。

【0368】また、前記負荷駆動後許容範囲は、その下限値を固定的な所定値VSTL（以下、下限側第2所定値という）とすると共に、上限値を、前記上限側第1所定値STABHとこれよりも大きい所定値HH（以下、上限側第4所定値HHという）との間で該許容範囲に対する前記要求偏差空燃比 usl の逸脱状況に応じて逐次（制御サイクル毎に）可変的に設定するようにした許容範囲である。この場合、該負荷駆動後許容範囲の下限側は、比較的狭い（本実施形態ではアイドル許容範囲の下限側よりも狭い）ものとされている。

【0369】さらに前記適応許容範囲は、その上限値を、前記上限側第1所定値STABHと上限側第4所定値HHとの間で該許容範囲に対する前記要求偏差空燃比 usl の逸脱状況に応じて逐次（制御サイクル毎に）可変的に設定すると共に、下限値も、前記下限側第1所定値STABLと下限側第5所定値LLというとの間で該許容範囲に対する前記要求偏差空燃比 usl の逸脱状況に応じて逐次（制御サイクル毎に）可変的に設定するようにした許容範囲である。

【0370】尚、本実施形態において前記各許容範囲によるリミット処理の対象とする前記要求偏差空燃比 usl はエンジン1の空燃比と前記空燃比基準値FLAF/BASEとの偏差であるので、前記各許容範囲の上限値及び下限値は該空燃比基準値FLAF/BASEに対する偏差量（空燃比基準値FLAF/BASEを「0」として表した正負の値）である。また、前記上限側第1～第5所定値STABH、HI、H、HH、AFCHの大小関係は、本実施形態では、図示のように $0 < STABH < HI < H < HH < AFCH$ である。同様に、前記下限側第1～第5所定値STABL、VSTL、LI、L、LLの大小関係は、本実施形態では $0 > STABL > VSTL > LI > L > LL$ である。

【0371】以上説明したことを考慮しつつ、前記STEP10におけるリミット処理の詳細を具体的に説明する。このリミット処理は図19のプロチャートに示すように行われる。尚、以下の説明においては、エンジン1のアイドル状態で設定されるリミット処理用の許容範囲（これは前記アイドル許容範囲とは限らない）の上限値及び下限値にそれぞれ参照符号AHFI、ALFIを付し、それらをアイドル用上限値AHFI、アイドル用下限値ALFIと称する。また、アイドル状態以外のエンジン1の

10

20

30

40

50

運転状態で設定されるリミット処理用の許容範囲の上限値及び下限値にそれぞれ参照符号AHF、ALFを付し、それらをアイドル外上限値AHF、アイドル外下限値ALFと称する。さらに、前記適応許容範囲の可変的な上限値及び下限値にそれぞれ参照符号ah、alを付し、それらを適応上限値ah、適応下限値alと称する。

【0372】図19を参照して、目標空燃比生成処理部28のリミッタ30は、まず、今回の制御サイクルにおけるリミット処理用の許容範囲を決定する処理を行う（STEP10-1）。

【0373】この処理は、図20のフローチャートに示すように行われる。

【0374】すなわち、リミッタ30は、まず、前述したSLD制御状態の安定性の判別処理で設定した前記不安定レベル判別フラグf/stb2の値を判断する（STEP10-1-1）。このとき、f/stb2=1の場合、すなわちSLD制御状態が高レベル不安定状態であると判断した場合には、前記アイドル用上限値AHFI、アイドル外上限値AHF及び適応上限値ah（より詳しくは適応上限値ahの現在値ah(k-1)）をいずれも前記高不安定用許容範囲（図18参照）の上限値である上限側第1所定値STABHに設定すると共に、前記アイドル用下限値ALFI、アイドル外下限値ALF及び適応下限値al（より詳しくは適応下限値alの現在値al(k-1)）をいずれも該高不安定用許容範囲の下限値である下限側第1所定値STABLに設定する（STEP10-1-2）。そして、このSTEP10-1-2の処理の後、図19のルーチン処理に復帰する。

【0375】このSTEP10-1-2の処理により、前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲は、エンジン1のどのような運転状態であっても、前記高不安定用許容範囲、すなわち、最も範囲の狭い固定的な許容範囲に設定される。また、後述の如く可変化される適応許容範囲は、高不安定用許容範囲に初期化される。

【0376】前記STEP10-1-1でf/stb2=0の場合には、リミッタ30はさらに、SLD制御状態の安定性の判別処理で設定した前記安定性判別フラグf/stb1の値を判断する（STEP10-1-3）。このとき、f/stb1=1の場合、すなわちSLD制御状態が低レベル不安定状態である場合には、前記アイドル用上限値AHFIを前記アイドル許容範囲（図18参照）の上限値である上限側第2所定値HIに設定すると共に、アイドル用下限値ALFIを該アイドル許容範囲の下限値である下限側第3所定値LIに設定する（STEP10-1-4）。さらにこのSTEP10-1-4では、前記アイドル外上限値AHF及び適応上限値ahの現在値ah(k-1)をいずれも前記低不安定用許容範囲（図18参照）の固定的な上限値である上限側第3所定値Hに設定すると共に、アイドル外下限値ALF及び適応下限値al（al(k-1)）をいずれも該

低不安定用許容範囲の下限値である下限側第4所定値Lに設定する。そして、このSTEP10-1-4の処理の後、図19のルーチン処理に復帰する。

【0377】このSTEP10-1-4の処理により、前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲は、エンジン1のアイドリング状態以外の運転状態であれば、前記低不安定用許容範囲（固定的な標準的範囲）に設定され、エンジン1のアイドリング状態であれば、該低不安定用許容範囲よりも狭い前記アイドル許容範囲（固定的な狭めの範囲）に設定される。また、適応許容範囲は、低不安定用許容範囲に初期化される。

【0378】前記STEP10-1-3でf/stb1=0の場合、すなわち、前記STEP9でSLD制御状態が安定であると判断した場合には、リミッタ30は、エンジン1のフュエルカット直後の状態であるか否か、すなわち、エンジン1のフュエルカットが終了してからの経過時間が所定時間に満たない状態であるか否かを判断する（STEP10-1-5）。

【0379】この判断は次のように行われる。すなわち、本実施形態では、エンジン1のフュエルカットを行っているか否を表すデータが前記機関側制御ユニット7bから排気側制御ユニット7aに与えられるようになっている。そして、前記リミッタ30は、このデータによりエンジン1のフュエルカットが終了したことを把握した時点から図示しないタイマを起動して該終了時点からの経過時間を計時し、この経過時間があらかじめ定められた所定時間（固定値）に達するまでの期間をフュエルカットの直後の状態であると判断する。

【0380】尚、本実施形態では、フュエルカット中は、目標空燃比生成処理部28が生成する目標空燃比KCMDによる空燃比の操作（O₂センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御）は行わないが（図6のSTEPdの処理に関する図7を参照）、目標空燃比生成処理部28における演算処理（要求偏差空燃比usl、目標空燃比KCMDの算出処理等）は行われる。そして、本実施形態では、便宜上、エンジン1のフュエルカット中の状態も、フュエルカット直後の状態であると判断するようにしている。

【0381】上記STEP10-1-5の判断結果がフュエルカット直後の状態（フュエルカット中を含む）である場合には、リミッタ30は、前記アイドル用上限値AHFI及びアイドル外上限値AHFをいずれも前記FC/始動後許容範囲（図8参照）の上限値である上限側第5所定値AFCHに設定する（STEP10-1-6）。さらにこのSTEP10-1-6では、アイドル用下限値ALFIを前記アイドル許容範囲の下限値である下限側第3所定値に設定すると共に、アイドル外下限値ALFの値を現在の適応下限値al（前回の制御サイクルで決定された適応下限値alf(k-1)）の値に設定する。そして、このSTEP10-1-6の処理の後、図19のルーチン処理に復

10

20

30

40

50

帰する。

【0382】このSTEP 10-1-6の処理により、前記要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施すための許容範囲は、エンジン1のアイドルリング状態であれば、下限値を前記アイドル許容範囲の下限值である下限側第3所定値 LI に固定した前記 FC ／始動後許容範囲に設定される。また、エンジン1のアイドルリング状態以外の運転状態では、下限値を逐次可変化する適応下限値 ah とした FC ／始動後許容範囲に設定される。いずれにしても、前記要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲は、特に上限側において最も広くなるような範囲（より一般的には上限値が前記上限側第5所定値 $AFCH$ を下回らないような範囲）に設定されることとなる。

【0383】また、上記STEP 10-1-5の判断結果がフューエルカットの直後の状態でない場合には、リミッタ30は、次にエンジン1の始動直後の状態であるか否、すなわち、エンジン1を始動してから（より詳しくはエンジン1の所謂完爆が確認されてから）の経過時間が所定時間に満たない状態であるか否かを判断する（STEP 10-1-7）。

【0384】この場合、エンジン1が始動したか否（エンジン1の完爆が確認されたか否か）を表すデータが機関側制御ユニット7bから排気側制御ユニット7aに与えられるようになっている。そして、リミッタ30は、このデータによりエンジン1が始動したことを把握した時点から図示しないタイマを起動して該始動時からの経過時間を計時し、この経過時間があらかじめ定めた所定時間（固定値）に達するまでの期間を始動直後の状態であると判断する。

【0385】上記STEP 10-1-7の判断結果が、エンジン1の始動直後の状態である場合には、リミッタ30は、フューエルカットの直後の場合と同様に前記STEP 10-1-6の処理を行って、前記アイドル用上限値 $AHFI$ 、アイドル外上限値 AHF 、アイドル用下限値 $ALFI$ 及びアイドル外下限値 ALF を前述の通り設定した後、図19のルーチン処理に復帰する。

【0386】STEP 10-1-7の判断結果が、エンジン1の始動直後の状態でない場合には、リミッタ30は、次にエンジン1のアイドルリング状態であるか否かを判断する（STEP 10-1-8）。

【0387】この場合、エンジン1のアイドルリング状態であるか否かを表すデータが機関側制御ユニット7bから排気側制御ユニット7aに与えられるようになっており、リミッタ30は、このデータによりエンジン1のアイドルリング状態であるか否かを判断する。

【0388】そして、このときエンジン1のアイドルリング状態である場合には（このときSLD制御状態の低レベル不安定状態もしくは高レベル不安定状態、あるいはエンジン1のフューエルカット直後の状態、始動直後の状態のいずれでもない）、リミッタ30は、前記アイドル

用上限値 $AHFI$ を前記アイドル許容範囲の上限値である前記上限側第2所定値 HI に設定すると共に、アイドル用下限値 $ALFI$ をアイドル許容範囲の下限値である前記下限側第3所定値 LI に設定した後（STEP 10-1-9）、図19のリーチン処理に復帰する。

【0389】このSTEP 10-1-9の処理により、前記要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施すための許容範囲は、固定的なアイドル許容範囲に設定されることとなる。

10 【0390】前記STEP 10-1-8でエンジン1のアイドルリング状態でない場合（この場合、SLD制御状態の低レベル不安定状態もしくは高レベル不安定状態、あるいはエンジン1のフューエルカット直後の状態、始動直後の状態、アイドルリング状態のいずれでもない）には、リミッタ30は、以下に説明するSTEP 10-1-10～10-1-13で前記適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ （前回の制御サイクルで決定された値）を前記上限側第1所定値 $STABH$ と上限側第4所定値 HH （図18参照）との間の範囲内の値に制限する処理（適応上限値 ah のリミット処理）を行う。

20 【0391】すなわち、適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ が上限側第1所定値 $STABH$ よりも小さければ、この現在値 $ah(k-1)$ を強制的に該上限側第1所定値 $STABH$ に設定し直す（STEP 10-1-10、10-10-11）。また、適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ が上限側第4所定値 HH よりも大きければ、この現在値 $ah(k-1)$ を強制的に該上限側第4所定値 HH に設定し直す（STEP 10-1-12、10-1-13）。そして、これら以外の場合には、適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ を現状のままに保持する。

30 【0392】さらに、リミッタ30は、適応下限値 al の現在値 $al(k-1)$ についても、適応上限値 ah の場合と同様に、該現在値 $al(k-1)$ を前記下限側第1所定値 $STABL$ と下限側第4所定値 LL （図18参照）との間の範囲内の値に制限する処理（適応下限値 al のリミット処理）を行う（STEP 10-1-14～10-1-17。 ah 、 $STABL$ 、 LL は負の値であることに注意）。

40 【0393】このように現在の適応上限値 $ah(k-1)$ 及び適応下限値 $al(k-1)$ の値の範囲を制限した後、リミッタ30は、前記アイドル外上限値 AHF 及びアイドル外下限値 ALF を、それぞれ適応上限値 $ah(k-1)$ 、適応下限値 $al(k-1)$ の値に設定する（STEP 10-1-18）。

【0394】さらに、リミッタ30は、車両の発進直後の状態であるか否か、すなわち、エンジン1がその負荷である車両の駆動輪の駆動を開始してからの経過時間が所定時間に満たない状態であるか否かを判断する（STEP 10-1-19）。

【0395】この判断は、例えば次のように行われる。すなわち、本実施形態では、エンジン1のアイドルリング状態であるか否を表すデータと共に、車両の車速を表す

データが機関側制御ユニット7bから排気側制御ユニット7aに与えられるようになっている。そして、リミッタ30は、これらのデータにより、エンジン1のアイドルリング状態で且つ車速が略「0」である状態（車両の駐車状態）を把握し、その状態から車速が所定値（十分に小さい値）を超えた時を車両の発進開始時として認識する。さらにその認識した車両の発進時から図示しないタイマにより経過時間を計時し、その経過時間が所定時間に達するまでの期間を発進直後の状態として判断する。

【0396】上記STEP10-1-19の判断結果が車両の発進直後の状態である場合には、リミッタ30は、前記アイドル外下限値ALFを前記負荷駆動後許容範囲（図18参照）の下限値である前記下限側第2所定値VSTLに設定し直した後（STEP10-1-20）、図19のルーチン処理に復帰する。

【0397】また、車両の発進直後の状態でない場合には、前記STEP10-1-18で設定したアイドルリング外上限値AHF及びアイドルリング外下限値ALFの値を維持したまま図19のルーチン処理に復帰する。

【0398】このSTEP10-1-18~10-1-20の処理によって、SLD制御状態の低レベル不安定状態もしくは高レベル不安定状態、あるいはフェUELカットの直後の状態、始動直後の状態、アイドルリング状態のいずれでもない場合においては、車両の発進直後の状態でもない場合に、前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲は、後に説明するように上限値（適応上限値ah）及び下限値（適応下限値al）を逐次変化させる適応許容範囲に設定される。また、車両の発進直後の状態である場合には、要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲は、前記負荷駆動後許容範囲、すなわち、特に、下限側において比較的狭くなるような範囲（より一般的には下限値が前記下限側第2所定値VSTLよりも大きくならないような範囲）に設定されることとなる。

【0399】図19に戻って、前述の如く要求偏差空燃比uslにリミット処理を施すための許容範囲を決定した後、リミッタ30は、エンジン1のアイドルリング状態であるか否かを前記STEP10-1-8の場合と同様に判断する（STEP10-2）。

【0400】このとき、エンジン1のアイドルリング状態であれば、リミッタ30は、前記STEP10-1-2、10-1-4、10-1-6、10-1-9のいずれか（通常的にはSTEP10-1-9）で設定されたアイドル用上限値AHFI及びアイドル用下限値ALFIにより定まる許容範囲（通常的には前記アイドル許容範囲）によって、前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施して前記指令偏差空燃比kcmdを決定する（STEP10-3~10-7）。

【0401】すなわち、前記STEP8（図8参照）で

スライディングモード制御器27が生成した要求偏差空燃比uslがアイドル用下限値ALFIを超えて許容範囲の下限側（負側）に逸脱している（ $usl < ALFI$ ）場合には、指令偏差空燃比kcmdの値を強制的に該アイドル用下限値ALFIに制限する（STEP10-3、10-4）。また、要求偏差空燃比uslがアイドル用上限値AHFIを超えて許容範囲の上限側（正側）に逸脱している（ $usl > AHFI$ ）場合には、指令偏差空燃比kcmdの値を強制的に該アイドル用上限値AHFIに制限する（STEP10-5、10-6）。そして、要求偏差空燃比uslが許容範囲内にある（ $ALFI \leq usl \leq AHFI$ ）ときには、該要求偏差空燃比uslをそのまま指令偏差空燃比kcmdとして設定する（STEP10-7）。

【0402】尚、前記STEP10-3又は10-5で前記要求偏差空燃比uslがアイドル用上限値AHFI及びアイドル用下限値ALFI間の許容範囲を逸脱していた場合には、前記スライディングモード制御器27が要求偏差空燃比uslを生成する過程で求める適応則入力uadpの値が必要以上に大きくなるのを防止するため、前記切換関数 σ バーの積算値（図15のSTEP8-2を参照）を強制的に前回の制御サイクルで求めた該積算値の値に設定し直す（STEP10-8）。また、前述の如くエンジン1のアイドルリング状態での要求偏差空燃比uslのリミット処理を行った場合には、前記適応上限値ah及び適応下限値alの値は現状の値に保持される（STEP10-9）。そして、前記STEP10-3~10-9の処理が終了した後は、図8のメインルーチンの処理に復帰する。

【0403】一方、前記STEP10-2でエンジン1のアイドルリング状態でない場合には、リミッタ30は、前記STEP10-1-2、10-1-4、10-1-6、10-1-18、10-1-20のいずれか（通常的にはSTEP10-1-18）で設定されたアイドル外上限値AHF及びアイドル外下限値ALFにより定まる許容範囲（通常的には前記適応許容範囲）によって、前記要求偏差空燃比uslにリミット処理を施して前記指令偏差空燃比kcmdを決定する（STEP10-10~10-14）。

【0404】すなわち、前記STEP8（図8参照）でスライディングモード制御器27が生成した要求偏差空燃比uslがアイドル外下限値ALFを超えて許容範囲の下限側（負側）に逸脱している（ $usl < ALF$ ）場合には、指令偏差空燃比kcmdの値を強制的に該アイドル外下限値ALFに制限する（STEP10-10、10-11）。また、要求偏差空燃比uslがアイドル外上限値AHFを超えて許容範囲の上限側（正側）に逸脱している（ $usl > AHF$ ）場合には、指令偏差空燃比kcmdの値を強制的に該アイドル外上限値AHFに制限する（STEP10-12、10-13）。そして、要求偏差空燃比uslが許容範囲内にある（ $ALF \leq usl \leq AHF$ ）ときには、該要求偏

差空燃比 usl をそのまま指令偏差空燃比 $kcmd$ として設定する (STEP 10-14)。

【0405】このようにしてアイドル外上限値 AHF 及びアイドル外下限値 ALF により定まる許容範囲により要求偏差空燃比 usl のリミット処理を行った場合には、次に、リミッタ 30 は、前記適応許容範囲に係わる適応上限値 ah 及び適応下限値 al の値を更新する (変化させる) ための処理を行う (STEP 10-15~10-19)。

【0406】すなわち、前記 STEP 10-14 で前記要求偏差空燃比 usl が許容範囲内に収まっていた場合には、リミッタ 30 は、前記適応下限値 al の現在値 $al(k-1)$ にあらかじめ定めた所定の変化量 ΔDEC (> 0 。以下、縮小側単位変化量 ΔDEC という) だけ加算することで、新たな適応下限値 $al(k)$ を求める (STEP 10-15)。さらに、この STEP 10-15 では、前記適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ から上記縮小側単位変化量 ΔDEC を減算することで、新たな適応上限値 $ah(k)$ を求める。

【0407】また、前記 STEP 10-10 で前記要求偏差空燃比 usl がアイドル外下限値 ALF を超えて許容範囲の下限側 (負側) に逸脱していた場合には、リミッタ 30 は、前記図 20 の STEP 10-1-19 の場合と同様に、車両の発進直後の状態であるか否かを判断する (STEP 10-16)。このとき、車両の発進直後の状態でない場合には、前記適応下限値 al の現在値 $al(k-1)$ からあらかじめ定めた所定の変化量 ΔINC (> 0 。以下、拡大側単位変化量 ΔINC という) を減算することで、新たな適応下限値 $al(k)$ を求める (STEP 10-17)。さらに、この STEP 10-17 では、適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ から前記縮小側単位変化量 ΔDEC だけ減算することで、新たな適応上限値 $ah(k)$ を求める。

【0408】尚、STEP 10-16 で、車両の発進直後の状態である場合には、前記適応上限値 ah 及び適応下限値 al の値は現状の値に保持される (STEP 10-18)。

【0409】また、本実施形態では、前記縮小側単位変化量 ΔDEC と拡大側単位変化量 ΔINC とに関しては、 $\Delta DEC < \Delta INC$ とされている。

【0410】また、前記 STEP 10-12 で前記要求偏差空燃比 usl がアイドル外上限値 AHF を超えて許容範囲の下限側 (正側) に逸脱していた場合には、リミッタ 30 は、前記図 20 の STEP 10-1-5、10-1-7 の場合と同様に、エンジン 1 のフューエルカット直後の状態 (フューエルカット中を含む) 及び始動開始直後の状態のいずれかの状態であるか否かを判断する (STEP 10-19)。このとき、いずれの状態でもない場合には、前記適応上限値 ah の現在値 $ah(k-1)$ に前記拡大側単位変化量 ΔINC を加算することで、新たな適応上限値

$ah(k)$ を求める (STEP 10-20)。さらに、この STEP 10-20 では、適応下限値 al の現在値 $al(k-1)$ に前記縮小側単位変化量 ΔDEC を加算することで、新たな適応下限値 $al(k)$ を求める。

【0411】尚、STEP 10-19 で、フューエルカット直後の状態及び始動開始直後の状態のいずれかの状態である場合には、前記適応上限値 ah 及び適応下限値 al の値は現状の値に保持される (STEP 10-21)。

【0412】また、前記 STEP 10-10 又は 10-12 で前記要求偏差空燃比 usl がアイドル外上限値 AHF 及びアイドル外下限値 ALF により定まる許容範囲を逸脱していた場合には、前記 STEP 10-8 の場合と同様に、前記切換関数 σ バーの積算値 (図 15 の STEP 8-2) を強制的に前回の制御サイクルで求めた該積算値の値に設定し直す (STEP 10-22)。そして、前記 STEP 10-10~10-22 の処理が終了した後は、図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。

【0413】また、本実施形態では、排気側制御ユニット 7a の起動時 (車両の運転開始時) における前記適応下限値 al 及び適応上限値 ah の初期値はそれぞれ前記下限側第 4 所定値 L 及び上限側第 3 所定値 H である。つまり適応許容範囲の初期範囲は、前記低安定用許容範囲と同じである。

【0414】また、本実施形態では、エンジン 1 のアイドルリング状態以外の運転状態において、SLD 制御状態が低レベルもしくは高レベル不安定状態であるときに、STEP 10-15、10-17、10-20 による適応上限値 ah 及び適応下限値 al の更新処理が行われるようになっているが、上記不安定状態では、次の制御サイクルにおける前記 STEP 10-1-2 あるいは 10-1-4 の処理 (図 20 を参照) によって、適応上限値 ah 及び適応下限値 al は低不安定用許容範囲や高不安定用許容範囲に対応した固定的な所定値 (前記上限側第 1 所定値 $STABH$ 等) に強制的に設定し直される。従って、SLD 制御状態が低レベルもしくは高レベル不安定状態であるときには、STEP 10-15、10-17、10-20 の処理を省略してもよい。

【0415】また、以上説明した STEP 10 のリミット処理によって制御サイクル毎に決定される前記指令偏差空燃比 $kcmd$ は、図示しないメモリに時系列的に記憶保持され、それが、推定器 26 の前述の演算処理のために使用される。

【0416】以上説明した STEP 10 のリミット処理によって、エンジン 1 のアイドルリング状態では、前記低安定用許容範囲、高安定用許容範囲、FC/始動後許容範囲 (詳しくは下限値を前記下限側第 3 所定値 LI (図 18 参照) に固定した FC/始動後許容範囲)、並びにアイドル許容範囲のいずれかの固定的な許容範囲が、SLD 制御状態やエンジン 1 の運転状態に応じて、要求偏差空燃比 usl に対するリミット処理用の許容範囲として設

定される（通常的にはアイドル許容範囲が設定される）。そして、この設定された許容範囲により、要求偏差空燃比 usl に対するリミット処理が施され、該要求偏差空燃比 usl を該許容範囲内に制限してなる前記指令偏差空燃比 $kcmd$ が決定される。

【0417】また、エンジン1のアイドルリング状態以外の運転状態では、前記低安定用許容範囲、高安定用許容範囲、FC/始動後許容範囲（詳しくは下限値を可変的な適応下限値 al としたFC/始動後許容範囲）、負荷駆動後許容範囲、並びに適応許容範囲のいずれかの許容範囲が、SLD制御状態やエンジン1の運転状態に応じて、要求偏差空燃比 usl に対するリミット処理用の許容範囲として設定される（通常的には適応許容範囲が設定される）。そして、この設定された許容範囲により、要求偏差空燃比 usl に対するリミット処理が施され、該要求偏差空燃比 usl を該許容範囲内に制限してなる前記指令偏差空燃比 $kcmd$ が決定される。

【0418】この場合、エンジン1のアイドルリング状態及びそれ以外の運転状態のいずれの運転状態であっても、前記STEP9におけるSLD制御状態の安定性の判断結果が高レベル不安定状態であるときには、リミット処理用の許容範囲は、その上限値 AHF 又は $AHFI$ 、及び下限値 ALF 又は $ALFI$ をそれぞれ固定的な前記上限側第1所定値 $STABH$ 、下限側第1所定値 $STABL$ とした最も範囲の狭い前記高不安定用許容範囲に設定される（前記STEP10-1-2）。

【0419】また、SLD制御状態の安定性の判断結果が低レベル不安定状態であって、且つエンジン1のアイドルリング状態以外の運転状態であるときには、リミット処理用の許容範囲は、その上限値 AHF 及び下限値 ALF をそれぞれ固定的な前記上限側第3所定値 H 、下限側第4所定値 L とした標準的な広さを有する低不安定用許容範囲に設定される（前記STEP10-1-4）。

【0420】また、SLD制御状態の低レベル不安定状態もしくは高レベル不安定状態、あるいはエンジン1のフュエルカットの直後の状態、始動直後の状態、車両の発進直後の状態のいずれでもなく、且つエンジン1のアイドルリング状態であるときには、リミット処理用の許容範囲は、その上限値 $AHFI$ 及び下限値 $ALFI$ をそれぞれ固定的な前記上限側第2所定値 HI 、下限側第3所定値 LI とした比較的範囲の狭いアイドル許容範囲に設定される（前記STEP10-1-4、10-1-9）。

【0421】また、SLD制御状態の低レベル不安定状態もしくは高レベル不安定状態、あるいはエンジン1のフュエルカットの直後の状態、始動直後の状態、アイドルリング状態、車両の発進直後の状態のいずれでもない通常の状態では、リミット処理に用いる許容範囲は、その上限値 AHF 及び下限値 ALF をそれぞれ適応上限値 ah 、適応下限値 al とした適応許容範囲に設定される（前記STEP10-1-18）。

【0422】そして、この適応許容範囲にあっては、要求偏差空燃比 usl が該適応許容範囲内に存する状態では（このとき $kcmd=usl$ となる）、リミット処理の後に、該適応許容範囲の適応上限値 ah 及び適応下限値 al が、それぞれ前記上限側第1所定値 $STABH$ 及び下限側第1所定値 $STABL$ を限界として、該適応許容範囲の上限側及び下限側の両者が縮小する方向で制御サイクル毎に前記縮小側単位変化量 ΔDEC ずつ更新されていくこととなる（前記STEP10-15）。

【0423】また、要求偏差空燃比 usl が適応許容範囲から例えば上限側に逸脱した状況では（このとき $kcmd=ah(k-1)$ となる）、リミット処理の後に、適応上限値 ah が前記上限側第4所定値 HH を限界として、適応許容範囲の上限側（逸脱を生じた側）が拡大する方向で制御サイクル毎に前記拡大側単位変化量 ΔINC ずつ更新されると共に、適応下限値 al が前記下限側第1所定値 $STABL$ を限界として、適応許容範囲の下限側（逸脱を生じた側と反対側）が縮小する方向で制御サイクル毎に前記縮小側単位変化量 ΔDEC ずつ更新されることとなる（前記STEP10-20）。

【0424】同様に、要求偏差空燃比 usl が適応許容範囲から例えば下限側に逸脱した状況では（このとき $kcmd=al(k-1)$ となる）、リミット処理の後に、適応下限値 al が前記下限側第5所定値 LL を限界として、適応許容範囲の下限側（逸脱を生じた側）が拡大する方向で制御サイクル毎に前記拡大側単位変化量 ΔINC ずつ更新されると共に、適応上限値 ah が前記上限側第1所定値 $STABH$ を限界として、適応許容範囲の上限側（逸脱を生じた側と反対側）が縮小する方向で制御サイクル毎に前記縮小側単位変化量 ΔDEC ずつ更新されることとなる（前記STEP10-17）。

【0425】このような適応許容範囲の時間的変化の様子を、要求偏差空燃比 usl の時間的変化の様子と併せて図21に例示的に示す。図示の如く、適応許容範囲は、要求偏差空燃比 usl が該適応許容範囲内に存する（ $al < usl < ah$ ）ときには適応上限値 ah 及び適応下限値 al の両者が適応許容範囲の縮小方向に更新されていくことで、該適応許容範囲の上限側及び下限側が漸次縮小されていく。

【0426】さらに、要求偏差空燃比 usl が適応上限値 ah 及び適応下限値 al のいずれか一方の限界値 ah 又は al 側に適応許容範囲から逸脱したときには（ $usl > ah$ 又は $usl < al$ ）、その一方（逸脱側）の限界値 ah 又は al が適応許容範囲の拡大方向に更新されていくことで、適応許容範囲の当該一方の限界値 ah 又は al 側が漸次拡大されていく。同時に、他方（逸脱側と反対側）の限界値 al 又は ah が適応許容範囲の縮小方向に更新されていくことで、適応許容範囲の当該他方の限界値 al 又は ah 側が漸次縮小されていく。

【0427】また、SLD制御状態が低レベルもしくは

高レベル不安定状態である場合を除き、エンジン1のフューエルカット直後もしくは始動直後の状態であるときには、リミット処理用の許容範囲は、その上限値AHF又はAHFIを固定的な前記上限側第5所定値AFCHとした前記FC/始動後許容範囲（上限側が最も広い許容範囲）に設定され、該上限値AHF又はAHFIが上限側第5所定値AFCHよりも許容範囲の縮小方向の値になるのが禁止される（前記STEP10-1-6）。

【0428】この場合、このFC/始動後許容範囲にあっては、エンジン1のアイドリング状態では、下限値ALFIが、前記アイドル許容範囲の下限値である固定的な前記下限側第3所定値LIに設定される。また、エンジン1のアイドリング状態以外の運転状態では、FC/始動後許容範囲の下限値ALFは、可変的な適応下限値alに設定される。そして、この下限値ALF（=al）は、要求偏差空燃比uslがFC/始動後許容範囲の上限側に逸脱した場合を除いて、該要求偏差空燃比uslのFC/始動後許容範囲からの逸脱状況に応じて前記適応許容範囲の適応下限値alと全く同様に制御サイクル毎に更新されることとなる（前記STEP10-15, 10-17, 10-21）。

【0429】このようなFC/始動後許容範囲のうち、FC後許容範囲が許容範囲として設定される場合における該許容範囲の時間的変化の様子を要求偏差空燃比uslの時間的変化の様子と併せて図22に例示的に示す。同様に、始動後許容範囲が許容範囲として設定される場合における該許容範囲の時間的変化の様子を図23に例示的に示す。

【0430】図22に示す如く、エンジン1のフューエルカットが開始すると、該フューエルカットの終了後、所定時間が経過するまでの間は（フューエルカットの直後の状態）、FC後許容範囲が要求偏差空燃比uslのリミット処理用の許容範囲として設定され、その上限値AHFが前記上限側第5所定値AHFCに固定的に維持される。従って、許容範囲（FC後許容範囲）の上限側は広いものとされる。この場合、図示の例では、エンジン1の運転状態はアイドリング状態以外の運転状態であり、FC後許容範囲の下限値ALFは適応下限値alに設定される。そして、このFC後許容範囲の下限値ALFは基本的には、前記適応許容範囲の場合と同様に逐次更新されていく。但し、フューエルカット直後の状態（フューエルカット中を含む）で、要求偏差空燃比uslが、FC後許容範囲の上限値AHF（=AHFC）を超えている状態では、該FC後許容範囲の下限値ALF（=al）は一定に保持される（更新されない）。

【0431】尚、同図22では、フューエルカットの開始前と、フューエルカットの終了後、所定時間が経過した後における許容範囲が、適応許容範囲に設定される場合

（通常の動作状態）を例示している。また、本実施形態では、フューエルカット中もフューエルカット直後の状態

に含めているため、該フューエルカットの開始時から許容範囲をFC後許容範囲とし、その上限値AHFを前記上限側第5所定値AHFCに設定するようにしているが、フューエルカット中は、目標空燃比生成処理部28が生成する目標空燃比KCMDによる空燃比の操作を行わない。従って、該フューエルカット中の許容範囲は任意でよく、必ずしもFC後許容範囲に設定する必要はない。あるいは、フューエルカット中は、要求偏差空燃比uslのリミット処理を行わないようにしてもよい。

【0432】一方、始動後許容範囲の設定に関しては、図23に示す如く、エンジン1の始動後、目標空燃比生成処理部28の演算処理が開始すると（この開始タイミングは、基本的にはO₂センサ6及びLAFセンサ5の両者の活性化が確認された時点である。図9を参照）、要求偏差空燃比uslの算出が開始されると共に、これにリミット処理を施す許容範囲は、始動後許容範囲に設定され、その上限値AHFI（図示の例ではエンジン1の始動後の運転状態はアイドリング状態である）が、エンジン1の始動時から所定時間が経過するまでは、前記上限側第5所定値AHFCに固定的に維持される（許容範囲の上限側が広いものとされる）。この場合、エンジン1のアイドリング状態であるので、始動後許容範囲の下限値ALFIは、前記下限側第3所定値LIに設定される。

【0433】尚、エンジン1の始動後の運転状態がアイドリング状態に維持されれば、エンジン1の始動後、所定時間が経過した後における許容範囲は基本的には、図示の如く前記アイドル許容範囲（AHFI=HI、AHLI=LI）に設定される。

【0434】また、SLD制御状態の低レベルもしくは高レベル不安定状態、あるいはエンジン1のフューエルカット直後もしくは始動直後の状態のいずれでもなく、エンジン1を搭載した車両の発進直後の状態であるときには（このときエンジン1のアイドリング状態ではない）、リミット処理用の許容範囲は、その下限値ALFを固定的な前記下限側第2所定値VSTLとした前記負荷駆動後許容範囲（下限側が狭い許容範囲）に設定され、該下限値ALFが下限側第2所定値VSTLよりも許容範囲の拡大方向の値になるのが禁止される（前記STEP10-1-20）。

【0435】この場合、この負荷駆動後許容範囲にあっては、その上限値AHFは、可変的な適応上限値ahに設定される（前記STEP10-1-18）。そして、この上限値AHF（=ah）は、要求偏差空燃比uslが負荷駆動後許容範囲の下限側に逸脱した場合を除いて、該要求偏差空燃比uslの負荷駆動後許容範囲からの逸脱状況に応じて前記適応許容範囲の適応上限値ahと全く同様に制御サイクル毎に更新されることとなる（前記STEP10-15, 10-18, 10-20）。

【0436】このような負荷駆動後許容範囲が許容範囲として設定される場合における該許容範囲の時間的変化

の様子を要求偏差空燃比 usl の時間的変化の様子と併せて図 2 4 に例示的に示す。

【0 4 3 7】図 2 4 に示す如く、エンジン 1 のアイドル状態から車両の発進を開始する（エンジン 1 がその負荷の駆動を開始する）と、その発進開始後、所定時間が経過するまでの間は（発進直後の状態）、許容範囲は、負荷駆動後許容範囲とされ、その下限値 ALF は、前記下限側第 2 所定値 $VSTL$ に固定的に維持される。従って、許容範囲（負荷駆動後許容範囲）の下限側は比較的狭いものとされる。この場合、該負荷駆動後許容範囲の上限値 AHF は、適応上限値 ah に設定され、前記適応許容範囲の場合と同様に逐次更新されていく。

【0 4 3 8】尚、車両の発進前のエンジン 1 のアイドル状態では、許容範囲は図示の如く、通常的にはアイドル許容範囲（ $AHFI=HI$ 、 $AHLI=LI$ ）に設定される。また、図 2 4 では、車両の発進後、所定時間が経過した後における許容範囲が、適応許容範囲に設定される場合（通常的な状態）を例示している。

【0 4 3 9】以上説明した内容が前記 STEP 1 0 におけるリミット処理の詳細である。

【0 4 4 0】図 8 に戻って、目標空燃比生成処理部 2 8 は、前述のようにリミッタ 3 0 で求めた指令偏差空燃比 $kcmd$ に前記空燃比基準値 $FLAF/BASE$ （より詳しくは前回の制御サイクルにおける後述の STEP 1 2 で基準値設定部 1 1 が求めた空燃比基準値 $FLAF/BASE$ ）を前記加算処理部 3 1 で加算することで、今回の制御サイクルにおける目標空燃比 $KCMD$ を算出する（STEP 1 1）。

【0 4 4 1】このようにして求められた目標空燃比 $KCMD$ は、制御サイクル毎に図示しないメモリに時系列的に記憶保持される。そして、前記機関側制御ユニット 7 b が、排気側主演算処理部 1 3 で決定された目標空燃比 $KCMD$ を用いるに際しては（図 8 の STEP f を参照）、上記のように時系列的に記憶保持された目標空燃比 $KCMD$ の中から最新のものが選択される。

【0 4 4 2】次いで、目標空燃比生成処理部 2 8 は、前記基準値設定部 1 1 により空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を設定する処理（更新処理）を行った後（STEP 1 2）、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0 4 4 3】この場合、本実施形態では、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、あらかじめ定められた一定値とした固定的な成分 $flaf/base$ （以下、基準値固定成分 $flaf/base$ という）と、可変的な成分 $flaf/adp$ （以下、基準値可変成分 $flaf/adp$ という）との和、すなわち、 $FLAF/BASE = flaf/base + flaf/adp$ として定義している。そして、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を可変的に設定するに際しては、上記基準値可変成分 $flaf/adp$ の値を調整するようにしている。尚、上記基準値固定成分 $flaf/base$ は、本実施形態では、例えば「1」（空燃比換算値）としている。

【0 4 4 4】STEP 1 2 の処理は図 2 5 のフローチャートに示すように行われる。

【0 4 4 5】すなわち、基準値設定部 1 1 は、まず、前記 O_2 センサ 6 の偏差出力 $V02$ が「0」近傍にあらかじめ定めた所定範囲（下限値及び上限値をそれぞれ所定値（固定値） $ADL (< 0)$ 、 $ADH (> 0)$ とした範囲。以下、収束判別範囲という）内の値であるかを判断することで、 O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ がその目標値 $V02/TARGET$ にほぼ収束している状態であるかを判断する（STEP 1 2 - 1）。尚、本実施形態では、上記収束判別範囲の上限値 ADH 及び下限値 ADL の絶対値は同一とされている（ $|ADH| = |ADL|$ ）。

このとき、偏差出力 $V02$ が収束判別範囲内にあり（ $ADL < V02 < ADH$ の条件が成立）、 O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ にほぼ収束している場合には、基準値設定部 1 1 はさらに、前記リミッタ 3 0 が前記 STEP 9 の処理（SLD 制御状態の安定性の判別処理）で求めた前記安定性判別基本パラメータ $Pstb$ （図 1 6 の STEP 9 - 1 を参照）の値をあらかじめ定めた所定値 $\delta (> 0)$ と比較することで、前記図 1 6 の STEP 9 - 4 の場合と同様に、前記 SLD 制御状態の安定性を判別する（STEP 1 2 - 2）。

【0 4 4 6】尚、この STEP 1 2 - 2 で安定性判別基本パラメータ $Pstb$ と比較する所定値 δ は、図 1 6 の STEP 9 - 1 で用いた所定値 ε よりも小さな値とされ、SLD 制御状態を安定であると判断するための条件をより厳しいものとしている。

【0 4 4 7】この安定性の判別において $Pstb < \delta$ であって、SLD 制御状態が安定であると判断される場合には、基準値設定部 1 1 は、前記図 1 5 の STEP 8 - 3 でスライディングモード制御器 2 7 が求めた適応則入力 u_{adp} （要求偏差空燃比 usl の適応則成分）の値に応じて前記基準値可変成分 $flaf/adp$ を調整する処理を行う（STEP 1 2 - 3 ~ 1 2 - 7）。

【0 4 4 8】さらに詳細には、基準値設定部 1 1 は、適応則入力 u_{adp} の値を、「0」近傍にあらかじめ定めた所定範囲（下限値及び上限値をそれぞれ所定値（固定値） $NRL (< 0)$ 、 $NRH (> 0)$ とした範囲。以下、基準値調整用不感帯という）と比較する（STEP 1 2 - 3、1 2 - 5）。尚、本実施形態では、上記基準値調整用不感帯の上限値 $FADP/NRH$ 及び下限値 $FADP/NRL$ の絶対値は同一とされている（ $|NRL| = |NRH|$ ）。

【0 4 4 9】そして、基準値設定部 1 1 は適応則入力 u_{adp} が該基準値調整用不感帯の下限値 NRL よりも小さい場合（ $u_{adp} < NRL$ である場合）には、前記基準値可変成分 $flaf/adp$ の現在値 $flaf/adp(k-1)$ （前回の制御サイクルで決定された値）から、あらかじめ定めた所定の（一定の）変化量 $\Delta flaf (> 0)$ 。以下、基準値単位変化量 $\Delta flaf$ ）を減算することで新たな基準値可変成分 $flaf/adp(k)$ を求める（STEP 1 2 - 4）。つまり、基準値可変成分 $flaf/adp$ の値を基準値単位変化量 $\Delta flaf$ だけ減少させる。

【0450】また、適応則入力 u_{adp} が上記基準値調整用不感帯の上限値 $FADP/NRH$ よりも大きい場合 ($u_{adp} > NRH$ である場合) には、前記基準値可変成分 f_{laf}/adp の現在値 $f_{laf}/adp(k-1)$ に、基準値単位変化量 Δf_{laf} を加算することで新たな基準値可変成分 $f_{laf}/adp(k)$ を求める (STEP 12-6)。つまり、基準値可変成分 f_{laf}/adp の値を基準値単位変化量 Δf_{laf} だけ増加させる。

【0451】そして、適応則入力 u_{adp} が上記基準値調整用不感帯に収まっている場合 ($NRL < u_{adp} < NRH$ の場合) には、基準値可変成分 f_{laf}/adp の値を変化させることなく、現在値 $f_{laf}/adp(k-1)$ に保持する (STEP 12-7)。

【0452】次いで、基準値設定部 11 は、このように STEP 12-4, 12-6, 12-7 のいずれかで決定した基準値可変成分 f_{laf}/adp の値を前記基準値固定成分 $f_{laf}/base$ に加算することで、次の制御サイクルにおける前記 STEP 11 で目標空燃比 $KCMD$ を求めるために使用する空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を決定し (STEP 12-8)、図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。

【0453】また、前記 STEP 12-1 の判断において、 O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ に未収束状態である場合 ($V02 \leq ADL$ 又は $V02 \geq ADH$ の場合)、あるいは、STEP 12-2 の判断において、 SLD 制御状態が不安定である場合 ($Pstb \geq \delta$ の場合) には、基準値可変成分 f_{laf}/adp の値を変更することなく前記 STEP 12-7 の処理を行って基準値可変成分 f_{laf}/adp の値を現在値 $f_{laf}/adp(k-1)$ に保持する。そして、前記 STEP 12-8 の処理 (空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の決定) を経て図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。

【0454】尚、上記のようにして適応則入力 u_{adp} に応じて適宜変更する前記基準値可変成分 f_{laf}/adp の値は、エンジン 1 の運転を停止し、排気側制御ユニット 7 a 等を OFF 状態としても失われることの無いように図示しない不揮発性メモリ (例えば EEPROM) に記憶保持する。そして、その記憶保持した基準値可変成分 f_{laf}/adp の値は、次のエンジン 1 の運転時における基準値可変成分 f_{laf}/adp の初期値として用いる。また、エンジン 1 の運転を最初に行ったときの基準値可変成分 f_{laf}/adp の初期値は「0」である。

【0455】以上説明した STEP 12 の処理における適応則入力 u_{adp} の変化の様子と、これに応じた前記基準値可変成分 f_{laf}/adp 及び空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の変化の様子とをそれぞれ図 26 の第 1 段及び第 2 段に例示的に示す。

【0456】図示の如く、適応則入力 u_{adp} が前記基準値調整用不感帯内に存するときには (図 21 の T1, T3, T5 期間)、基準値可変成分 f_{laf}/adp 及び空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、変更されず、一定に保持されるが、適応則入力 u_{adp} が基準値調整用不感帯の上限値 $FADP/N$

RH よりも大きい状態では (図 21 の T2 期間)、基準値可変成分 f_{laf}/adp 及び空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、基準値単位変化量 Δf_{laf} づつ制御サイクル毎に増加されていく。また、適応則入力 u_{adp} が基準値調整用不感帯の下限値 $FADP/NRL$ よりも小さい状態では (図 21 の T4 期間)、基準値可変成分 f_{laf}/adp 及び空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、基準値単位変化量 Δf_{laf} づつ制御サイクル毎に減少されていく。このようにして、最終的には、基準値可変成分 f_{laf}/adp 及び空燃比基準値 $FLAF/BASE$ は、適応則入力 u_{adp} が基準値調整用不感帯内に収まるような値に収束していく。

【0457】以上説明した内容が本実施形態の装置の詳細な作動である。

【0458】すなわち、その作動を要約すれば、基本的には目標空燃比生成処理部 13 の操作量生成部 29 (スライディングモード制御器 27、推定器 26、同定器 25) によって、触媒装置 3 の下流側の O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるために対象排気系 E に与えるべき入力としての要求偏差空燃比 usl (上記収束のために要求されるエンジン 1 の空燃比と空燃比基準値 $FLAF/BASE$ との偏差) が逐次生成される。そして、この要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施してなる指令偏差空燃比 $kcnd$ (基本的には $kcnd = usl$) に空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を加算することで目標空燃比 $KCMD$ が逐次決定される。さらに、機関側制御ユニット 7 b によって、この目標空燃比 $KCMD$ に LAF センサ 5 の出力 (空燃比の検出値) を収束させるようにエンジン 1 の燃料噴射量を調整することで、エンジン 1 の空燃比が目標空燃比 $KCMD$ にフィードバック制御される。これにより、 O_2 センサ 6 の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束制御し、ひいては触媒装置 3 の経時劣化等によらずに、触媒装置 3 の最適な排ガス浄化性能を確保することができる。

【0459】この場合、本実施形態では、操作量生成部 29 は、スライディングモード制御器 27 によって、外乱等の影響に対する安定性の高い適応スライディングモード制御の処理を実行することで要求偏差空燃比 usl を算出する。そして、この要求偏差空燃比 usl の算出に際しては、触媒装置 3 を含む対象排気系 E の無駄時間 $d1$ と空燃比操作系 (エンジン 1 及び機関側制御ユニット 7 b からなる系) の無駄時間 $d2$ とを合わせた合計無駄時間 d 後の O_2 センサ 6 の偏差出力 $V02$ の推定値である推定偏差出力 $V02$ バーを推定器 26 により逐次求める。そして、この推定偏差出力 $V02$ バーを用いて構築した適応スライディングモード制御の処理 (より詳しくは推定偏差出力 $V02$ バーを「0」に収束させるように構築した適応スライディングモード制御の処理) をスライディングモード制御器 27 に実行させることで要求偏差空燃比 usl を求める。

【0460】これにより、対象排気系 E 及び空燃比操作

系の両者の無駄時間 $d1$ 、 $d2$ の影響を補償しつつ、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束制御する上で適正な要求偏差空燃比 usl を生成することができる。

【0461】さらに、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の処理や、推定器26による推定偏差出力 $V02$ バーの算出処理に必要な前記排気系モデル（対象排気系Eの挙動を表現するモデル）のパラメータとしての前記ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ を同定器25によってリアルタイムで逐次同定する。そして、スライディングモード制御器27や推定器26は、それぞれ、このゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ の同定値である前記同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを用いて前記要求偏差空燃比 usl 、推定偏差出力 $V02$ バーを求める。

【0462】これにより、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値を対象排気系Eの挙動状態に則したものと、その信頼性を高めることができ、ひいては、要求偏差空燃比 usl や推定偏差出力 $V02$ バーの信頼性を高めることができる。

【0463】さらに、エンジン1の空燃比を操作する機関側制御ユニット7bにあっては、エンジン1の挙動変化等の影響を的確に補償し得る漸化式形式の制御器としての適応制御器18を主体として、エンジン1の空燃比を目標空燃比 $KCMD$ に操作する。このため、エンジン1の空燃比を目標空燃比 $KCMD$ に安定して精度よく操作することができ、ひいては O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御を安定して精度よく行うことができる。また、本実施形態では、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束制御すべく操作量生成部29が生成する要求偏差空燃比 usl にリミット処理を施して許容範囲内に制限してなる指令偏差空燃比 $kcmd$ によって最終的に目標空燃比 $KCMD$ を決定することで、要求偏差空燃比 usl がスパイク的に大きな変動を生じた場合等に、目標空燃比 $KCMD$ 、ひいてはエンジン1の実際の空燃比の過大な変動を回避し、エンジン1の運転状態の安定性を確保することができる。

【0464】この場合、本実施形態では、要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲として、通常的には、前記適応許容範囲が設定され、その適応上限値 ah 及び適応下限値 al は、前述の如く要求偏差空燃比 usl の該許容範囲からの逸脱状況に応じて（詳しくは、上限値及び下限値に対する要求偏差空燃比 usl の大小関係に応じて）逐次可変的に更新されていく（図21を参照）。

【0465】このため、適応許容範囲を、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるために対象排気系Eに与えるべき入力として生成される要求偏差空燃比 usl の値の範囲に過不足なく整合したものとすることができる。

【0466】例えば、定常的に生成される要求偏差空燃

比 usl の値の範囲が比較的狭いものとなるような状況

（要求偏差空燃比 usl が定常的に適応許容範囲内に収まるような状況）では、それに合わせて適応許容範囲を狭めることができる。逆に、要求偏差空燃比 usl の値の範囲が比較的広いものとなるような状況（要求偏差空燃比 usl が頻繁に適応許容範囲から逸脱するような状況）では、それに合わせて適応許容範囲を広げることができる。また、例えば要求偏差空燃比 usl の値の範囲が適応許容範囲の上限側（正側）に偏りを生じたような状況

（要求偏差空燃比 usl が頻繁に適応許容範囲の上限側に逸脱するような状況）では、それに合わせて適応許容範囲も正側に偏らせることができる。

【0467】これにより、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で適正な要求偏差空燃比 usl が許容範囲（適応許容範囲）内に収まりやすくなって、該要求偏差空燃比 usl をそのまま指令偏差空燃比 $kcmd$ として目標空燃比 $KCMD$ が決定される（ $KCMD = usl + FLAF/BASE$ となる）機会が多くなる。そして、特に本実施形態では要求偏差空燃比 usl を適応スライディングモード制御の処理を用いて生成するので、該要求偏差空燃比 usl の安定性や信頼性が高い。この結果、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御を安定して行うことができる。

【0468】同時に、要求偏差空燃比 usl が外乱等の影響で一時的に大きく変動してスパイク状のものとなり、許容範囲（適応許容範囲）を逸脱したような状況では、前記指令偏差空燃比 $kcmd$ を該許容範囲内の値に制限して、目標空燃比 $KCMD$ の大きな変動を避け、エンジン1の安定した運転状態を確保することができる。そして、この場合、要求偏差空燃比 usl に対するリミット処理を行った後に適応許容範囲を更新するので、上記のような不適正な要求偏差空燃比 usl をそのまま用いた目標空燃比 $KCMD$ の決定、及びこれに応じたエンジン1の空燃比の操作を確実に排除することができる。

【0469】また、適応許容範囲の更新に際しては、その上限側あるいは下限側の拡大方向での適応上限値 ah あるいは適応下限値 al の1制御サイクル当たりの変化量を規定する前記拡大側単位変化量 ΔINC を、縮小方向での適応上限値 ah あるいは適応下限値 al の1制御サイクル当たりの変化量を規定する前記縮小側単位変化量 ΔDEC よりも大きいものとしている。このため、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で適正な要求偏差空燃比 usl が適応許容範囲から逸脱するような状況では、速やかに、該要求偏差空燃比 usl が内部に収まるような許容範囲に該適応許容範囲を変化させることができる。

【0470】さらに、前記適応許容範囲は、その適応上限値 ah が前記上限側第1所定値 $STABH$ と上限側第4所定値 HH との間の範囲に制限されると共に、適応下限値 al が前記下限側第1所定値 $STABL$ と下限側第5所定値 LL との

間の範囲に制限される（前記図20のSTEP10-1-10~10-1-17を参照）。これにより、目標空燃比KCMDが、過剰にリーン側あるいはリッチ側の値になって、エンジン1の円滑な運転を行う上で不適正なものとなってしまうような事態を回避することができる。

【0471】また、本実施形態では、上記のように要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲を可変的な適応許容範囲に設定する他、SLD制御状態が不安定であると判断される場合や、エンジン1の特定の運転状態（フューエルカット直後の状態やアイドルリング状態等）においては、それぞれに応じた許容範囲を前述の如く設定することで次のような効果がある。

【0472】すなわち、SLD制御状態が不安定であるような場合には、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が不安定となって、変動を生じ易いが、本実施形態では、このような状況では、比較的狭めの前記低不安定用許容範囲もしくは高不安定用許容範囲がリミット処理用の許容範囲として設定される。このため、前記指令偏差空燃比 $kcmd$ 、ひいては目標空燃比KCMDの変動が抑えられ、この結果、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を安定化することができる。また、SLD制御状態が不安定であると判断されるときに設定する許容範囲は、低レベル不安定状態である場合よりも高レベル不安定状態である場合の方が狭い（図18参照）。つまり、SLD制御状態の不安定さの度合いが高い程、許容範囲を狭くしている。このため、高レベル不安定状態では、指令偏差空燃比 $kcmd$ 、ひいては目標空燃比KCMDの変動をできるだけ積極的に抑えて、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の安定性を確実に確保することができる。また、低レベル不安定状態では、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の安定化を図りつつ、該出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束性もある程度確保することができる。

【0473】さらに、本実施形態では、目標空燃比生成処理部28が生成する目標空燃比KCMDによるエンジン1の空燃比の操作（ O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御）を開始してから所定時間（：TMSTB）は、SLD制御状態の安定性の判断を行わず（SLD処理状態が安定であると見なす。図7のSTEPd-11、図16のSTEP9-2、9-3を参照）、前記低不安定用許容範囲や高不安定用許容範囲が要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲として設定されるのを排除する。つまり、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の収束制御の開始直後は、該出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ に収束していないため、その収束を促進するために、できるだけ、指令偏差空燃比 $kcmd$ が許容範囲の上限値あるいは下限値に制限されるのを避け、要求偏差空燃比 usl がそのまま指令偏差空燃比 $kcmd$ となるような頻度を高める。これにより、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を速やかに目標値 $V02/TARGET$ に近づけていくことができる。

【0474】また、エンジン1のフューエルカット直後の状態では、前記図22に示した如く、リミット処理用の許容範囲をFC後許容範囲とし、その上限側を広いものとする。すなわち、フューエルカット中は触媒装置3に大量の酸素が貯えられるため、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ は、その目標値 $V02/TARGET$ よりも空燃比のリーン側

（ O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が小さくなる側。図2を参照）に離間する。従って、このフューエルカットの直後は、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるための要求偏差空燃比 usl は、図22に示した如く、空燃比をリッチ側に変化させる方向（本実施形態では、これは要求偏差空燃比 usl の正方向で、許容範囲の上限側である）で大きなものとなる。このため、本実施形態では、FC後許容範囲の上限値を前記上限側第5所定値AFCHとして、該許容範囲を上限側に広いものとする。これにより、フューエルカット直後における指令偏差空燃比 $kcmd$ が要求偏差空燃比 usl に合わせて許容範囲の上限側に大きな値を採ることが可能となり、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ への収束を迅速に行うことができる。

【0475】また、エンジン1の始動直後の状態においては、前記図23に示した如く、リミット処理用の許容範囲を始動後許容範囲とし、その上限側をフューエルカット直後の場合と同様に、広いものとする。すなわち、エンジン1の始動時のクランキング動作中に触媒装置3へ送り込まれる酸素が触媒装置3に貯えられるため、エンジン1の始動直後は、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が、目標値 $V02/TARGET$ よりも空燃比のリーン側に離間した状態となり易い。このため、本実施形態では、フューエルカット直後の場合と同様に、始動後許容範囲の上限側（空燃比のリッチ側に対応する側）を広いものとする。これにより、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ への収束を迅速に行うことができる。

【0476】また、車両の発進直後の状態、すなわち、エンジン1がその負荷の駆動を開始した直後の状態では、前記図24に示した如く、リミット処理用の許容範囲を負荷駆動後許容範囲とし、その下限側を狭いものとする。すなわち、エンジン1がその負荷の駆動を開始した直後は、エンジン1の空燃比がリーン側に変移しやすい。そして、このような状況が、要求偏差空燃比 usl により空燃比をリーン方向（本実施形態では、これは要求偏差空燃比 usl の負方向で、許容範囲の下限側である）に変化させようとしているときに生じると、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ に対して過大に空燃比のリーン方向に変化してしまいやすい。このため、本実施形態では、負荷駆動後許容範囲の下限値を前記下限側第2所定値VSTLとして、該許容範囲を下限側に狭いものとする。これにより、車両の発進直後（エンジン1がその負荷の駆動を開始した直後）における指令偏差空燃比 $kcmd$ が許容範囲の下限側で採り得る値の大きさ（絶

対値)を小さめの値に制限し、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の安定性を確保することができる。

【0477】尚、本実施形態では、要求偏差空燃比 usl を、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で対象排気系Eに与えるべき空燃比から空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を減算したものとして定義しているため、許容範囲の上限側(正側)が空燃比のリッチ側に対応し、下限側(負側)が空燃比のリーン側に対応するものとなっている。但し、要求偏差空燃比 usl を、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ から、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で対象排気系Eに与えるべき空燃比を減算したものとして定義することも可能である。この場合には、要求偏差空燃比 usl の符号が本実施形態と逆になるため、許容範囲の上限側(正側)が空燃比のリーン側に対応し、下限側(負側)が空燃比のリッチ側に対応するものとなる。

【0478】また、エンジン1のアイドルリング状態では、リミット処理用の許容範囲を基本的には前記アイドル許容範囲に設定し、その上限側と下限側との両者を、比較的狭めのものとする。すなわち、エンジンのアイドルリング状態では、エンジン1の空燃比をあまり変化させると、該アイドルリング状態の安定性が損なわれやすい。このため、本実施形態では、エンジン1のアイドルリング状態では、狭めのアイドル許容範囲を要求偏差空燃比 usl のリミット処理用の許容範囲として設定する。これにより、エンジン1のアイドルリング状態の安定性を確保しつつ、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御を行うことができる。

【0479】さらに、本実施形態では、前記空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を、スライディングモード制御器27が生成する要求偏差空燃比 usl の適応則に基づく成分である適応則入力 u_{adp} に応じて前述の如く可変的に設定することで、該空燃比基準値 $FLAF/BASE$ が、これに要求偏差空燃比 usl を加算してなる空燃比($=usl+FLAF/BASE$)、すなわち、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で要求される空燃比(これは基本的には前記目標空燃比 $KCMD$ に等しい)の値の範囲の中心的な値になるようにすることができる。そして、この結果、スライディングモード制御器27が逐次生成する要求偏差空燃比 usl の値を正負にバランスさせ、ひいては、該要求偏差空燃比 usl に応じて可変化させる適応許容範囲をその上限側(正側)と下限側(負側)とでバランスさせることができる。

【0480】すなわち、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ に定常的に収束した状態では、前記式(24)～(26)を参照して明らかなように、前記要求偏差空燃比 usl の適応則入力 u_{adp} 以外の成分である前記等価制御入力 u_{eq} 及び到達則入力 u_{rch} は、それぞれ「0」となり、 $usl=u_{adp}$ となる。つまり、この適応則入力 u_{adp} は、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が目標

値 $V02/TARGET$ に定常的に収束した状態における要求偏差空燃比 usl の値の範囲の中心的な値としての意味を持つものである。そして、この場合、該適応則入力 u_{adp} に空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を加算したものが、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で要求される空燃比、あるいは前記目標空燃比 $KCMD$ の中心的な値としての意味を持つこととなる。

【0481】従って、上記適応則入力 u_{adp} が「0」近傍の値になるように空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を調整すれば、該空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で要求される空燃比、あるいは前記目標空燃比 $KCMD$ の中心的な値にすることができる。このために、本実施形態では、前述の如く適応則入力 u_{adp} の値に応じて空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を適宜変化させることで、適応則入力 u_{adp} の値が前記基準値調整用不感帯内の収まるように空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を調整する。これにより、該空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で要求される空燃比、あるいは前記目標空燃比 $KCMD$ の中心的な値に調整することができる。そして、この結果、要求偏差空燃比 usl の値を正負にバランスさせ、特に、該要求偏差空燃比 usl に応じて可変化させる適応許容範囲をその上限側(正側)と下限側(負側)とでバランスさせることができる。さらに、このように適応許容範囲をその上限側(正側)と下限側(負側)とでバランスさせることで、該上限側と下限側との両者での要求偏差空燃比 usl のリミット処理をバランスよく適正に行うことができる。

【0482】この場合、本実施形態では、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の調整(更新)処理は、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ が目標値 $V02/TARGET$ にほぼ収束し、且つ、前記安定性判別基本パラメータ P_{stb} によりSLD制御状態が安定であると判断される場合にのみ行う。このため、前記適応則入力 u_{adp} の値が安定した段階で空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の調整が行われることとなり、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させる上で要求される空燃比、あるいは前記目標空燃比 $KCMD$ の中心的な値としての空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の信頼性を高めることができる。

【0483】また、本実施形態では、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の調整処理に際しては、適応則入力 u_{adp} が前記基準値調整用不感帯内に存する状態では該空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の値を変更しない。これにより、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の頻繁な変動を避け、SLD制御状態等が不安定となるような事態を回避することができる。

【0484】さらに、本実施形態では、上記のように空燃比基準値 $FLAF/BASE$ の調整を行うことで次のような効果もある。

【0485】すなわち、空燃比基準値 $FLAF/BASE$ を前記適応則成分 u_{adp} に応じて変化させることで、 O_2 セン

サ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御の速応性を高めることができる。この理由は次のように考えられる。すなわち、仮に空燃比基準値FLAF/BASEを一定とした場合（例えば $FLAF/BASE = flaf/base$ とした場合）、エンジン1の実際の空燃比と目標空燃比KCMDとの間に定常的な誤差が含まれるような場合には、スライディングモード制御器27が求める適応則入力 u_{adp} は、最終的にはその誤差分の学習値に相当するものとなる。そして、この誤差分が比較的大きいような場合には、適応則入力 u_{adp} は、最終的にはその誤差分の学習値に相当するものとなるまでに時間を要する。ところが、本実施形態のように空燃比基準値FLAF/BASEを前記適応則成分 u_{adp} に応じて変化させることで、前述の如く適応則成分 u_{adp} を「0」近傍の十分に小さな値にすることができる。つまり、上記の誤差分を空燃比基準値FLAF/BASE側で吸収することができ、この結果、O₂センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御の速応性を高めることができると考えられる。

【0486】また、空燃比基準値FLAF/BASEを前記適応則成分 u_{adp} に応じて変化させることで、前記推定器26が求める前記推定偏差出力V02バーや、前記同定器25が求める同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの精度を高めることができる。この理由は次のように考えられる。すなわち、前記空燃比基準値FLAF/BASEを対象排気系Eの入力の基準として式(1)で表した排気系モデルは、O₂センサ6の出力V02/OUTが目標値V02/TARGETに定常的に収束した状態において、LAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）が空燃比基準値FLAF/BASEになるようなモデルである。従って、該空燃比基準値FLAF/BASEは、排気系モデルにおいて、O₂センサ6の出力V02/OUTが目標値V02/TARGETに定常的に収束した状態におけるエンジン1の空燃比の中心的な値となるべきものである。そして、本実施形態では、空燃比基準値FLAF/BASEを前記適応則成分 u_{adp} に応じて変化させることで、前述のように、空燃比基準値FLAF/BASEを、O₂センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに収束させる上で要求される空燃比の中心的な値に調整することができる。この結果、排気系モデルの挙動を実際の対象排気系の挙動により整合したものとすることができる。このため、この排気系モデルに基づいて推定器26が求める前記推定偏差出力V02バーの精度を高めることができると共に、該排気系モデルのパラメータの同定値とし

て同定器25が求める同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの精度を高めることができると考えられる。そして、このように推定偏差出力V02バーや同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの精度を高めることで、これらのデータを用いてスライディングモード制御器27が求める要求偏差空燃比 usl を、O₂センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに収束させる上で最適なものとして行うことができ、O₂センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御の精度を高めることができる。

【0487】次に、本発明の内燃機関の空燃比制御装置の他の実施形態を説明する。尚、本実施形態は、基本的には前記推定器26による演算処理のみが前述の実施形態と相違するものであるので、説明に際しての参照符号は前述の実施形態と同一のものをを用いる。

【0488】前述の実施形態では、対象排気系Eの無駄時間 $d1$ と空燃比操作系（エンジン1及び機関側制御ユニット7b）の無駄時間 $d2$ とを合わせた合計無駄時間 d の影響を補償するために、該合計無駄時間 d 後のO₂センサ6の偏差出力V02の推定値（推定偏差出力V02）を求めるようにしている。しかるに、対象排気系Eの無駄時間 $d1$ に比して空燃比操作系の無駄時間 $d2$ が十分に小さいような場合には、対象排気系Eの無駄時間 $d1$ 後のO₂センサ6の偏差出力V02の推定値 $V02(k+d1)$ バー（以下の説明ではこれを第2推定偏差出力V02バーと称する）を求め、その第2推定偏差出力V02バーを用いて、要求偏差空燃比 usl を求めるようにしてもよい。本実施形態は、このような第2推定偏差出力V02バーを求めて、O₂センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御を行うものである。

【0489】この場合、推定器26は次のようにして第2推定偏差出力V02バーを求める。すなわち、対象排気系Eの排気系モデルを表す前記式(1)を用いることで、各制御サイクルにおける対象排気系Eの無駄時間 $d1$ 後のO₂センサ6の偏差出力V02の推定値である前記第2推定偏差出力V02($k+d1$)バーは、O₂センサ6の偏差出力V02の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact (= KACT - FLAF/BASE)$ の過去値の時系列データ $kact(k-j)$ ($j=1, 2, \dots, d1$)とを用いて次式(42)により表される。

【0490】

【数42】

$$\overline{V02(k+d1)} = \alpha 3 \cdot V02(k) + \alpha 4 \cdot V02(k-1) + \sum_{j=1}^{d1} \gamma j \cdot kact(k-j) \quad (42)$$

但し、

$$\begin{cases} \alpha 3 = A^{d1} \text{ の第1行第1列成分} \\ \alpha 4 = A^{d1} \text{ の第1行第2列成分} \\ \gamma j = A^{j-1} \cdot B \text{ の第1行成分} \\ A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix} \end{cases}$$

【0491】ここで、式(42)において、 $\alpha 3$ 、 $\alpha 4$ は、それぞれ前記式(12)中のただし書きで定義した行列Aの中乗 A^{d1} ($d1$:対象排気系Eの無駄時間)の第1行第1列成分、第1行第2列成分である。また、 γj ($j=1, 2, \dots, d1$)は、それぞれ行列Aの中乗 A^{j-1} ($j=1, 2, \dots, d1$)と前記式(12)中のただし書きで定義したベクトルBとの積 $A^{j-1} \cdot B$ の第1行成分である。

【0492】この式(42)が本実施形態において、推定器26が前記第2推定偏差出力 $V02(k+d1)$ バーを算出するための式であり、この式(42)は、前記式(12)中の「kcmd」を「kact」に置き換えると共に、式(12)中の「d」を「d1」に置き換えた式である。つまり、本実施形態では、推定器26は、制御サイクル毎に、 O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の過去値の時系列データ $kact(k-j)$ ($j=1, \dots, d1$)とを用いて式(42)の演算を行うことによって、 O_2 センサ6の第2推定偏差出力 $V02(k+d1)$ バーを求める。

【0493】この場合、式(42)により第2推定偏差出力 $V02(k+d1)$ バーを算出するために必要となる係数 $\alpha 3$ 、 $\alpha 4$ 及び γj ($j=1, 2, \dots, d1$)の値は、前述の実施形態の場合と同様、前記ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ の同定値である前記同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを用いて算出する。また、式(42)の演算で必要となる無駄時間 $d1$ の値は、前述の実施形態と同様に設定した値を用いる。

【0494】以上説明した以外の他の処理については前述の実施形態と基本的には同一である。但し、この場合において、スライディングモード制御器27は、要求偏差空燃比 usl の成分である等価制御入力 ueq と到達則入力 $urch$ と適応則入力 $uadp$ とを、それぞれ前記式(24)、(26)、(27)の「d」を「d1」で置き換えた式により求めることとなる。また、同定器25が行う同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの組み合わせの制限処理に関しては、対象排気系Eの無駄時間 $d1$ の値によっては、該組み合わせを制限するための領域(これは前記図12に示した前記同定係数安定領域あるいは同定係数制限領域に相当する)が前述の実施形態のものとなる場合があるが、前述の実施形態と同様に設定すればよい。

【0495】このような本実施形態の内燃機関の空燃比

制御装置にあっても、特に、要求偏差空燃比 usl のリミット処理や空燃比基準値FLAF/BASEの可変的な設定に関して、前述の実施形態と同一の作用効果を奏することができる。

【0496】尚、本発明、特に本発明の内燃機関の空燃比制御装置は、前述した実施形態に限定されるものではなく、例えば次のような変形態様も可能である。

【0497】すなわち、前記実施形態では、第2排ガスセンサとして、LAFセンサ(広域空燃比センサ)5を用いたが、第2排気ガスセンサは排ガスの空燃比を検出できるものであれば、通常の O_2 センサ等、他の形式のセンサを用いてもよい。

【0498】また、前記実施形態では、第1排ガスセンサとして O_2 センサ6を用いたが、第1排ガスセンサは、制御すべき触媒装置下流の排ガスの特定成分の濃度を検出できるセンサであれば、他のセンサを用いてもよい。すなわち、例えば触媒装置下流の排ガス中の一酸化炭素(CO)を制御する場合はCOセンサ、窒素酸化物(NO_x)を制御する場合には NO_x センサ、炭化水素(HC)を制御する場合にはHCセンサを用いる。三元触媒装置を使用した場合には、上記のいずれのガス成分の濃度を検出するようにしても、触媒装置の浄化性能を最大限に発揮させるように制御することができる。また、還元触媒装置や酸化触媒装置を用いた場合には、浄化したいガス成分を直接検出することで、浄化性能の向上を図ることができる。

【0499】また、前記実施形態では、排気系モデルのパラメータであるゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ を同定器25により同定するようにしたが、該ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ をあらかじめ定めた固定値に設定したり、あるいは、エンジン1の運転状態や触媒装置3の劣化状態等に応じてマップ等を用いて適宜設定するようにしてもよい。

【0500】また、前記実施形態では、推定器26とスライディングモード制御器27とで対象排気系Eの共通の排気系モデルを使用したか、各別のモデルを使用してもよい。そして、この場合、推定器26の処理に用いる排気系モデルの入力は、必ずしも空燃比基準値FLAF/BASEを用いて表す必要はない。

【0501】また、前記実施形態では、排気系モデルを離散系(離散時間系)で表現したが、連続系(連続時間系)で表現し、そのモデルに基づいて推定器26やスラ

イディングモード制御器 27 の処理のアルゴリズムを構築することも可能である。

【0502】また、前記実施形態では、推定器 26 を用いているが、対象排気系 E や空燃比操作系の無駄時間が十分に短いような場合には、該推定器 26 を省略してもよい。

【0503】また、前記実施形態では、O₂ センサ 6 の出力 V02/OUT を目標値 V02/TARGET に収束させるようにエンジン 1 の空燃比を操作するための操作量（前記実施形態では要求偏差空燃比 u_{sl} ）を前記推定偏差出力 V02 パーを用いて生成するフィードバック制御処理として適応スライディングモード制御を用いたが、他の形式のフィードバック制御処理（好ましくは、前記適応則入力 u_{adp} に相当する操作量成分を生成するもの）を用いてもよい。

【0504】また、前記実施形態では、エンジン 1 の空燃比を LAF センサ 5 の出力を用いて目標空燃比 KCMD にフィードバック制御するようにしたが、目標空燃比 KCMD からマップ等を用いてフィードフォワード的にエンジン 1 の燃料供給量を調整することで、エンジン 1 の空燃比

【0505】また、本実施形態では、前記空燃比基準値 FLAF/BASE の設定に際しては、適応則入力 u_{adp} が「0」近傍の基準値調整不感帯内に存する状態では、空燃比基準値 FLAF/BASE を変更しないようにしたが、例えば適応則入力 u_{adp} が「0」より大きいときには、空燃比基準値 FLAF/BASE を前記基準値単位変化量 $\Delta flaf$ づつ制御サイクル毎に増加させ、また、適応則入力 u_{adp} が「0」より小さいときには、空燃比基準値 FLAF/BASE を前記基準値単位変化量 $\Delta flaf$ づつ制御サイクル毎に減少させる、というようにして該空燃比基準値 FLAF/BASE を変化させるようにしてもよい。このようにしても、適応則入力 u_{adp} が略「0」となるように空燃比基準値 FLAF/BASE を調整することができる。

【0506】さらに、前記実施形態では、前記空燃比基準値 FLAF/BASE を適応スライディングモード制御による適応則入力 u_{adp} に応じて変化させるようにしたが、例えば該適応則入力 u_{adp} を含まない通常のスライディングモード制御を用いて前記要求偏差空燃比 u_{sl} を生成したような場合にも、前記実施形態と同様に空燃比基準値 FLAF/BASE を可変的に設定することが可能である。すなわち、例えば要求偏差空燃比 u_{sl} を、適応則を用いない通常のスライディングモード制御の処理によって前記等価制御入力 u_{eq} と到達則入力 u_{rch} との和として求めた場合（ $u_{sl} = u_{eq} + u_{rch}$ として求める）には、前記安定性判別基本パラメータ P_{stb} （ $= \sigma_{\text{バー}} \cdot \Delta \sigma_{\text{バー}}$ ）の値、あるいは切換関数 $\sigma_{\text{バー}}$ の変化速度の値が定常的に略「0」となるような状態における前記到達則入力 u_{rch} が前記実施形態における適応則入力 u_{adp} に相当するものとなる。従って、上記のような状態における到達

則入力 u_{rch} に応じて前記実施形態と同様に空燃比基準値 FLAF/BASE を変化させることで、前記実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0507】また、前記実施形態では、車両に搭載したエンジン 1 の空燃比制御装置を例にとって説明したが、車両以外のもの（例えば発電機等）を駆動するエンジンについても本発明を適用することができる。

【0508】また、本発明のプラントの制御装置に関し、前記実施形態では、内燃機関の空燃比制御装置を例にとって説明したが、本発明のプラントの制御装置は前記実施形態に限られるものではない。

【0509】以下に本発明のプラントの制御装置の他の一実施形態を図 27 を参照して説明する。

【0510】図 27 において、40 はプラントであり、このプラント 40 には、流量制御器 41（アクチュエータ）により流量を調整可能なアルカリ液が入力される。そして、該プラント 40 は、与えられたアルカリ液に酸性液を合流させ、それを攪拌器 42 により攪拌してなる混合液を出力するものである。

【0511】本実施形態の制御装置は、このようなプラント 40 が出力する混合液（アルカリ液と酸性液との混合液）の pH が所望の pH（例えば中性に相当する pH 値）になるようにプラント 40 に入力されるアルカリ液の流量を制御するもので、その制御のために次のような構成を備えている。

【0512】すなわち、本実施形態の制御装置は、プラント 40 の出力側に前記混合液の pH を検出すべく設けられた pH センサ 43（第 1 検出手段）と、プラント 40 の入力側にアルカリ液の流量を検出すべく設けられた流量センサ 44（第 2 検出手段）と、これらの pH センサ 43 及び流量センサ 44 のそれぞれの出力 V1/OUT、V2/OUT に基づき後述の演算処理を行う制御ユニット 45 とを具備する。

【0513】制御ユニット 45 は、マイクロコンピュータ等により構成されたもので、pH センサ 43 の出力 V1/OUT とその目標値 V1/TARGET（これは前記混合液の目標 pH に相当する）との偏差 V1（ $= V1/OUT - V1/TARGET$ ）を算出する減算処理部 46 と（以下、偏差 V1 を pH センサ 43 の偏差出力 V1 という）、プラント 40 に与えるアルカリ液の流量の基準値 V2/REF（これは流量センサ 44 の出力の基準値でもある）を逐次生成する基準値設定部 47（基準値可変設定手段）と、流量センサ 44 の出力 V2/OUT と上記基準値 V2/REF との偏差 V2（ $= V2/OUT - V2/REF$ ）を算出する減算処理部 48 と（以下、偏差 V2 を流量センサ 44 の偏差出力 V2 という）、pH センサ 43 の出力 V1/OUT をその目標値 V1/TARGET に収束させるためにプラント 40 に与えるべきアルカリ液の流量の前記基準値 V2/REF に対する偏差 w_{sl} （これは前述の実施形態における要求偏差空燃比 k_{cmd} に対応する。以下、要求偏差流量 w_{sl} という）を流量制御器 41 の出力を操作するための

操作量として逐次生成する操作量生成部 4 9 と、前記要求偏差流量 wsl に基準値 $V2/REF$ を加算することでプラント 4 0 に与えるべきアルカリ液の目標流量 $V2CMD$ を求める加算処理部 5 0 と、流量センサ 4 4 の出力 $V2/OUT$ (検出流量) を目標流量 $V2CMD$ に収束させるようにフィードバック制御により前記流量制御器 4 1 の動作量 (例えば弁の開度) を調整するフィードバック制御部 5 1 (アクチュエータ制御手段) とを具備する。

【0514】尚、以下の説明において、流量制御器 3 1 及びフィードバック制御部 3 9 を合わせた系、すなわち、目標流量 $V2CMD$ から流量センサ 4 1 の出力 $V2/OUT$ を生成するシステムを流量操作系 (これは前述の実施形態における空燃比操作系に対応する) と称する。

【0515】前記操作量生成部 4 9 は、前述の実施形態の操作量生成部 2 9 (図 3 参照) と同様に同定器、推定器及びスライディングモード制御器 (図示しない) を備えている。そして、操作量生成部 4 9 は、例えば前記式 (1) の $V02$ 、 $kact$ をそれぞれ前記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ で置き換えて成るプラント 4 0 の離散系モデルと、前記式 (2) の $kact$ 、 $kcnd$ をそれぞれ前記偏差出力 $V2$ 、要求偏差流量 wsl で置き換えて成る前記流量操作系の離散系モデルとを用い、操作量生成部 2 9 の同定器 2 5、推定器 2 6 及びスライディングモード制御器 2 7 と同様の演算処理を行う。

【0516】すなわち、操作量生成部 4 9 は、プラント 4 0 のモデルのパラメータの同定値 (これは前述の実施形態における同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットに対応する) を前記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ のデータを用いて算出する。また、操作量生成部 4 9 は、プラント 4 0 に存する無駄時間と流量操作系に存する無駄時間とを合わせた合計無駄時間後の pH センサ 4 3 の偏差出力 $V1$ の推定値 (これは前述の実施形態における推定偏差出力 $V02$ バーに対応する) を前記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ のデータとプラント 4 0 のモデルのパラメータの同定値のデータとを用いて算出する。さらに、操作量生成部 4 9 は、前記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ のデータと、偏差出力 $V1$ の推定値のデータと、プラント 4 0 のモデルのパラメータの同定値のデータとを用いて適応スライディングモード制御の処理により前記要求偏差流量 wsl を算出する。

【0517】この場合、プラント 4 0 のモデルにおける無駄時間 (第 1 無駄時間) の設定値は、プラント 3 0 の実際の無駄時間以上となるような時間 (例えば一定値) に実験等を通じて定めておけばよい。また、流量操作系のモデルにおける無駄時間 (第 2 無駄時間) の設定値は、流量制御器 4 1 の動作特性を考慮し、流量操作系の実際の無駄時間以上となるような時間 (例えば一定値) に実験等を通じて定めておけばよい。

【0518】また、前述した実施形態のように、同定器による同定を行うプラント 3 0 のパラメータの値を制限するに際しては、 pH センサ 4 3 の出力 $V1/OUT$ の目標値

$V1/TARGET$ への制御性や、前記要求偏差流量 wsl の安定性もしくはそれに応じた流量制御器 4 1 の動作の安定性等を考慮して、実験やシミュレーションを通じて上記パラメータの値もしくはその組み合わせを制限するための条件を前述の実施形態と同様に設定すればよい。

【0519】また、前記基準値設定部 4 7 は、前述の実施形態における基準値設定部 1 1 と同様に、操作量生成部 4 9 のスライディングモード制御器が適応スライディングモード制御の処理によって要求偏差流量 wsl の適応則に基づく成分として求める適応則入力 wsl に応じて基準値 $V2/REF$ を逐次可変的に設定する。

【0520】この場合、上記適応則入力 wsl は、前記式 (25) の $V02$ バーを偏差出力 $V1$ の推定値で置き換えてなる切換関数 σ バーを用いて式 (27) の右辺と同じ形の演算式により求めることができる。

【0521】尚、前記フィードバック制御部 5 1 は、例えば前述の実施形態の大局的フィードバック制御部 1 5 と同様に、図示しない PID 制御器あるいは適応制御器等により、流量センサ 4 4 の出力 $V2/OUT$ (検出流量) が前記目標流量 $V2CMD$ に一致するように流量制御器 4 1 の動作をフィードバック制御する。

【0522】このような本実施形態の装置によれば、プラント 4 0 に与えられるアルカリ液の pH や、該アルカリ液にプラント 4 0 内で混合する酸性液の pH 、該酸性液の流量を把握せずとも、外乱の影響やプラント 4 0 に存する無駄時間の影響によらずに、適応スライディングモード制御を用いて精度よく pH センサ 4 3 の出力 $V1/OUT$ 、すなわちプラント 4 0 が出力する混合液の pH を所望の pH (目標値 $V1/TARGET$) に収束制御することができる。

【0523】そして、この場合、プラント 4 0 のモデルに係わる基準値 $V2/REF$ を適応スライディングモード制御に係わる適応則入力 wsl に応じて可変的に設定することで、 pH センサ 4 3 の出力 $V1/OUT$ の目標値 $V1/TARGET$ への収束制御の速応性を高めることができると共に、偏差出力 $V1$ の推定値やプラント 4 0 のモデルのパラメータの同定値の精度を高めることができ、ひいては、 pH センサ 4 3 の出力 $V1/OUT$ の目標値 $V1/TARGET$ への収束制御の精度を高めることができる。

【0524】尚、本実施形態では、要求偏差流量 wsl のリミット処理を省略したが、該要求偏差流量 wsl を所要の許容範囲内の値に制限した上で、前記基準値 $V2/REF$ を加算することで、目標流量 $V2CMD$ を決定するようにしてもよい。そして、この場合、前述の実施形態の場合と同様、該許容範囲を、該範囲からの要求偏差流量 wsl の逸脱状況に応じて可変的に設定したり、流量制御器 4 1 の動作状態等に応じて設定形態を変更したりすることも可能である。

【0525】また、本実施形態のプラントの制御装置は、前記内燃機関の空燃比制御装置の実施形態について

説明した変形態様と同様の各種の変形態様が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の一実施形態のシステムの全体的構成図。

【図 2】図 1 のシステムで使用する O_2 センサの出力特性図。

【図 3】図 1 のシステムの要部の基本構成を示すブロック図。

【図 4】図 1 のシステムで用いるスライディングモード制御を説明するための説明図。

【図 5】図 1 のシステムで用いる適応制御器を説明するためのブロック図。

【図 6】図 1 のシステムのエンジンの動作制御に係わる処理を説明するためのフローチャート。

【図 7】図 6 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 8】図 1 のシステムの目標空燃比生成処理部の全体的処理を説明するためのフローチャート。

【図 9】図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 10】図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 11】図 10 のフローチャートの部分的処理を説明するための説明図。

【図 12】図 10 のフローチャートの部分的処理を説明するための説明図。

【図 13】図 10 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 14】図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

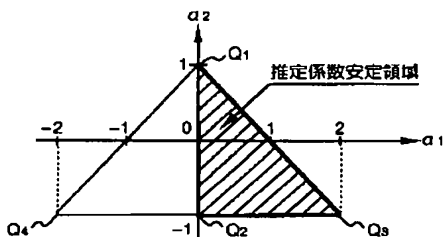
【図 15】図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 16】図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図 17】図 16 のフローチャートの処理を説明するた*

【図 11】

FIG. 11



【図 12】

FIG. 12

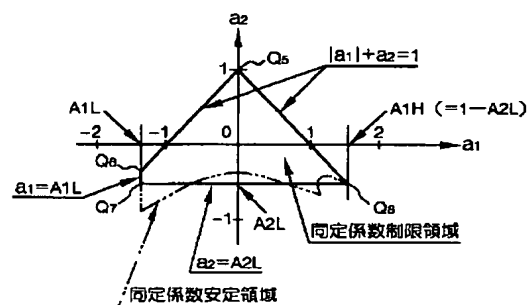
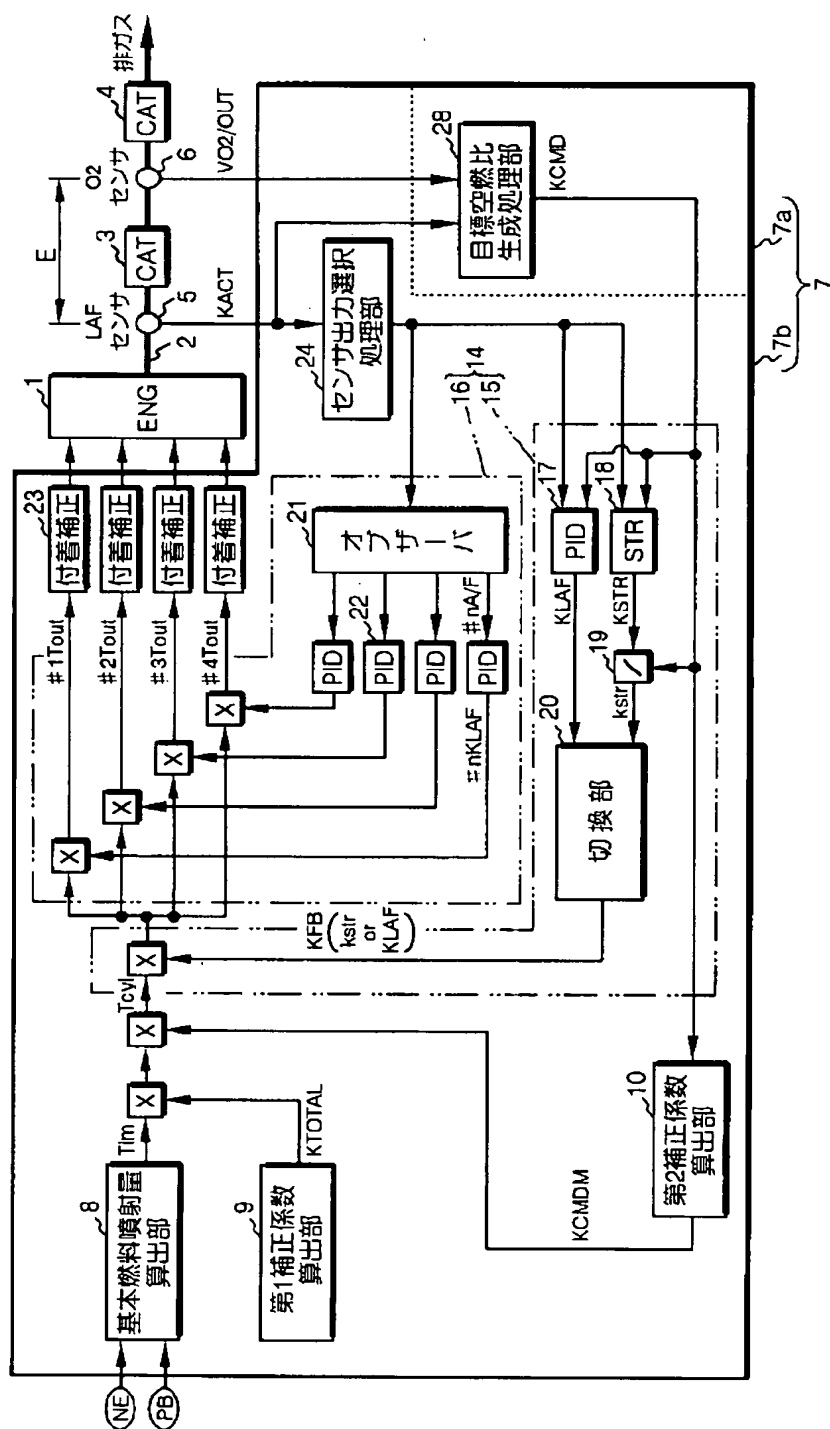
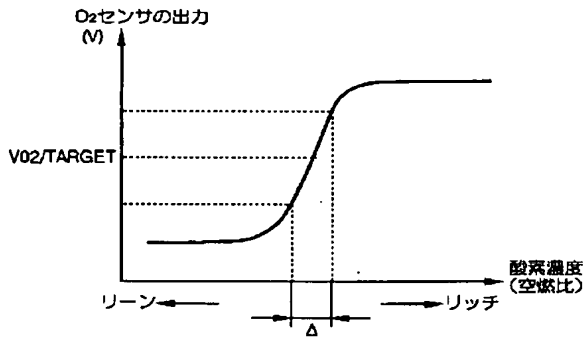


FIG. 1



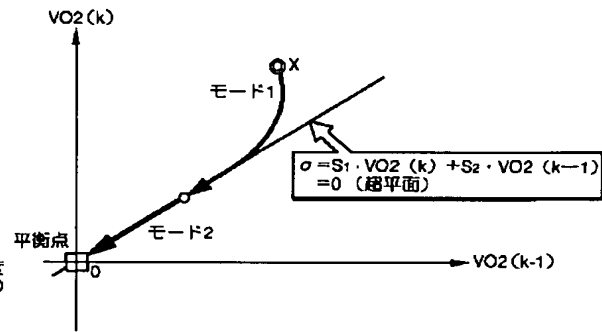
【図2】

FIG.2



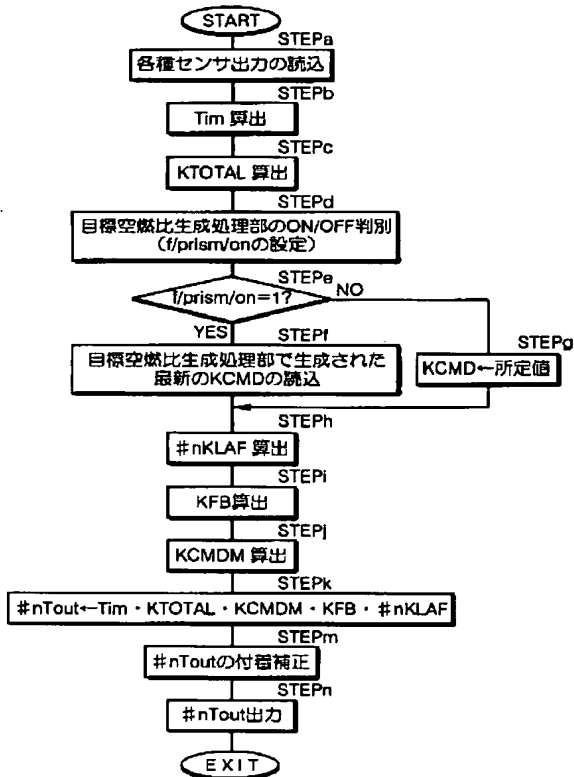
【図4】

FIG. 4



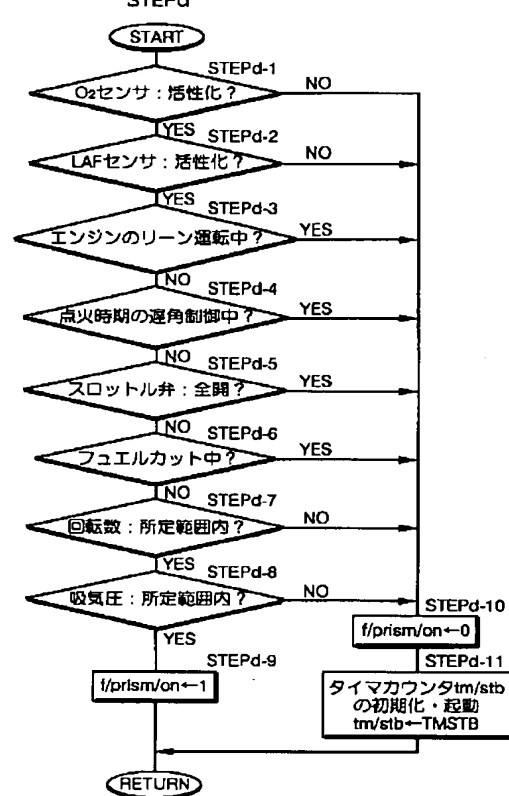
【図6】

FIG. 6



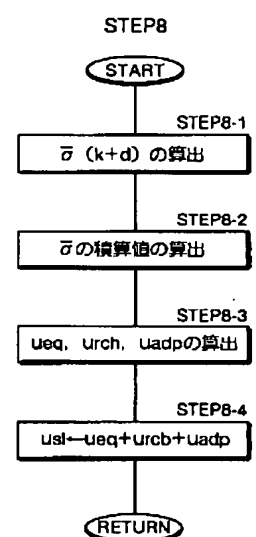
【図7】

FIG. 7

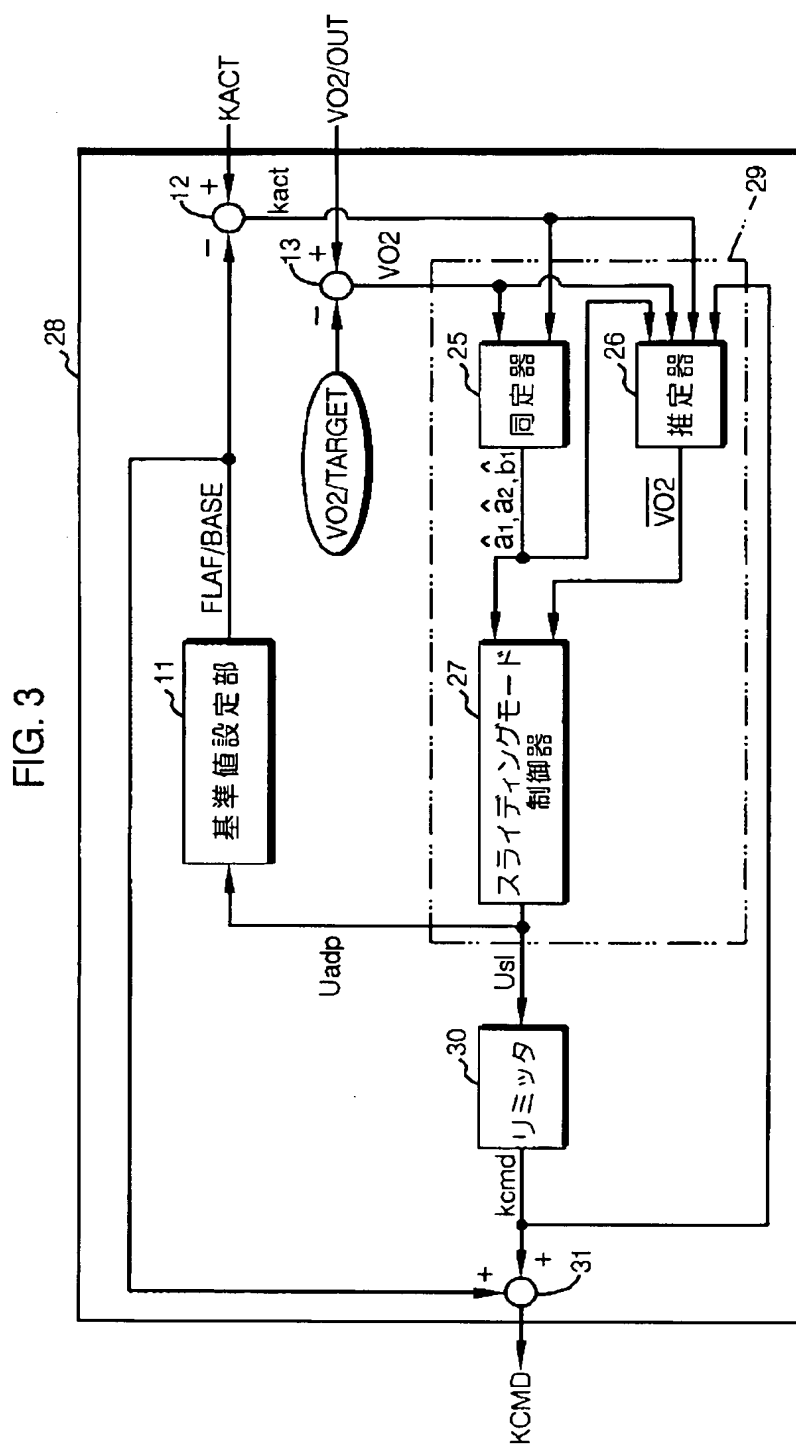


【図15】

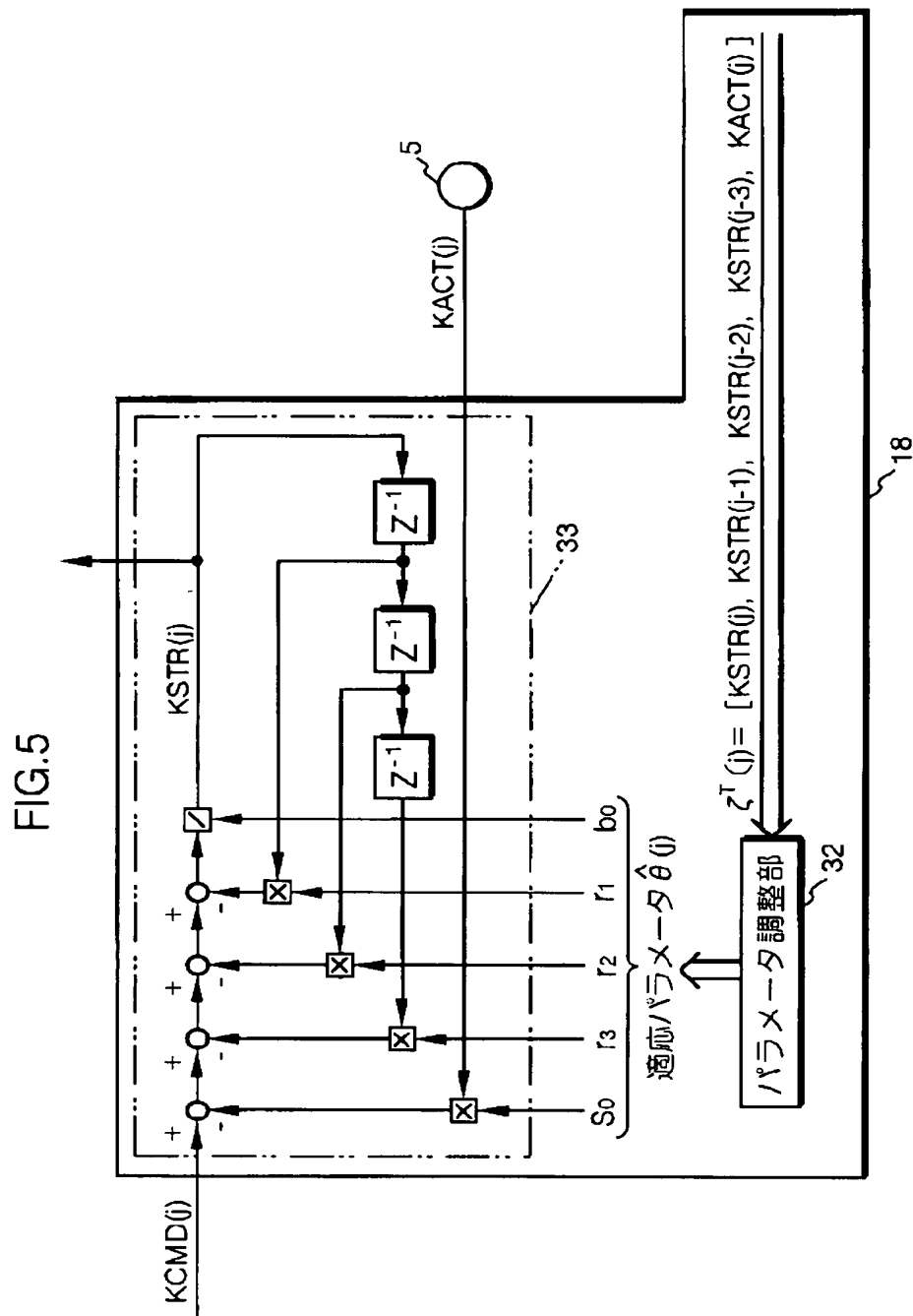
FIG.15



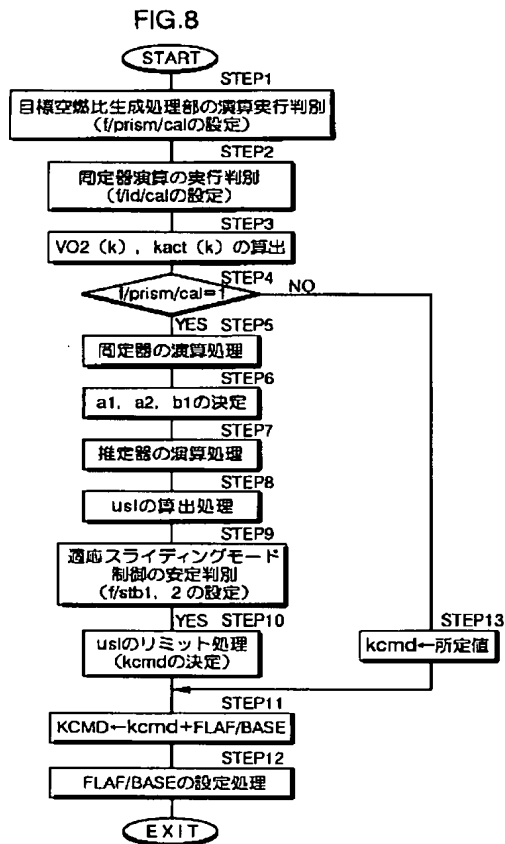
【図3】



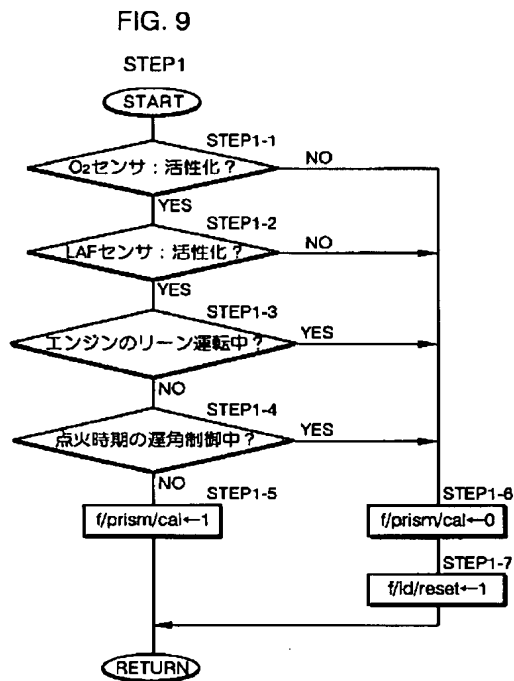
【図5】



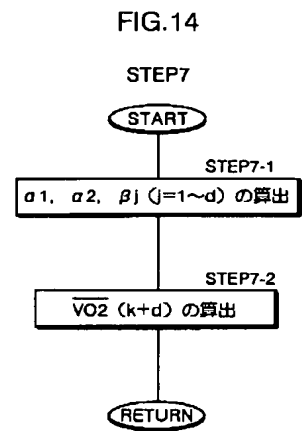
【図8】



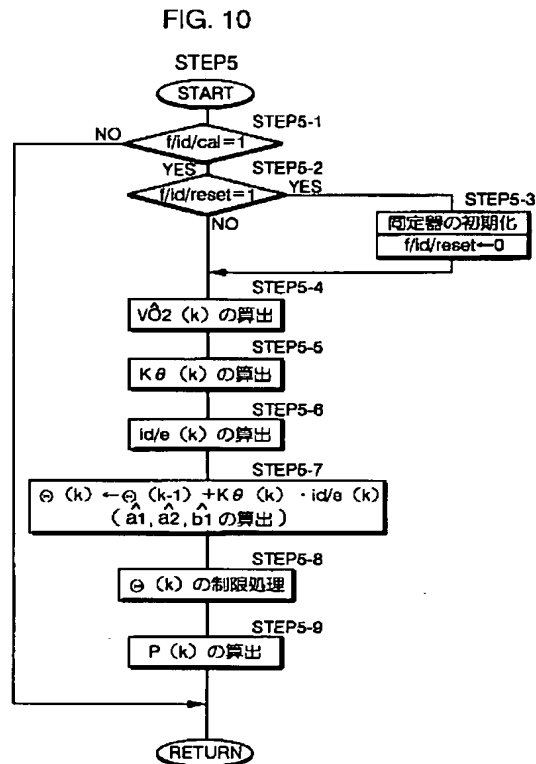
【図9】



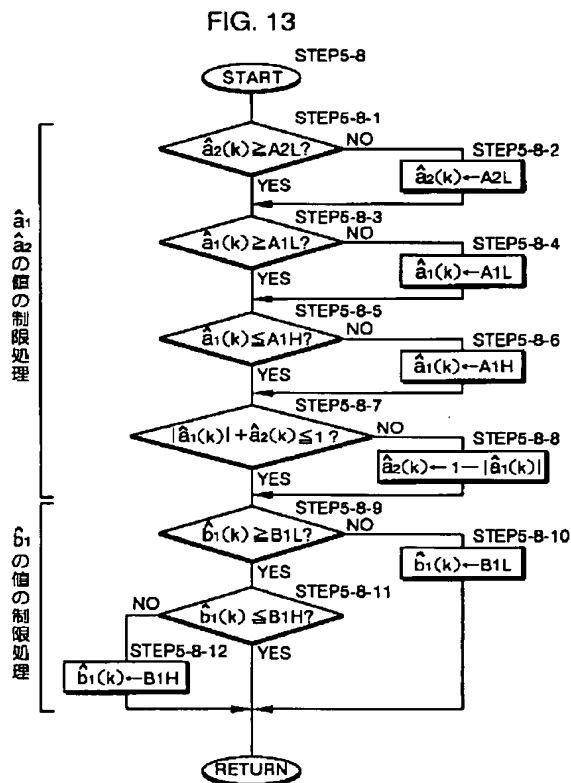
【図14】



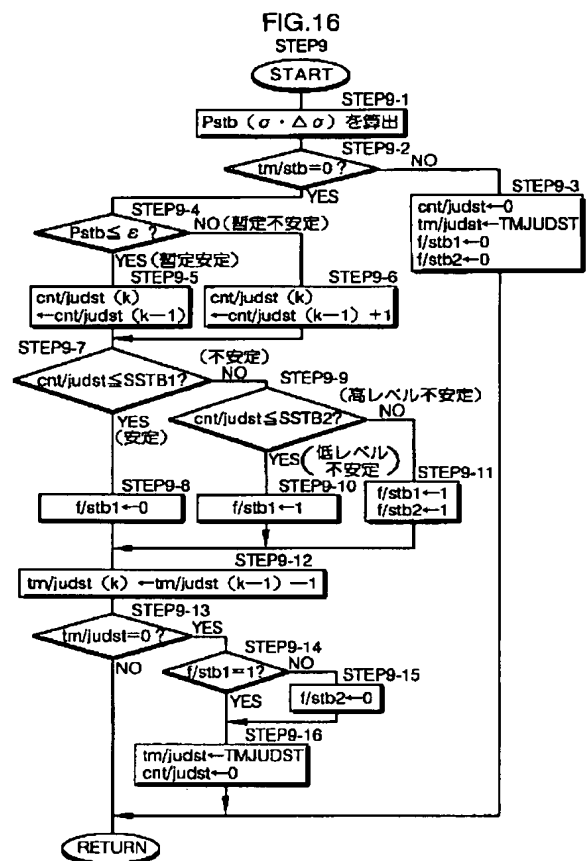
【図10】



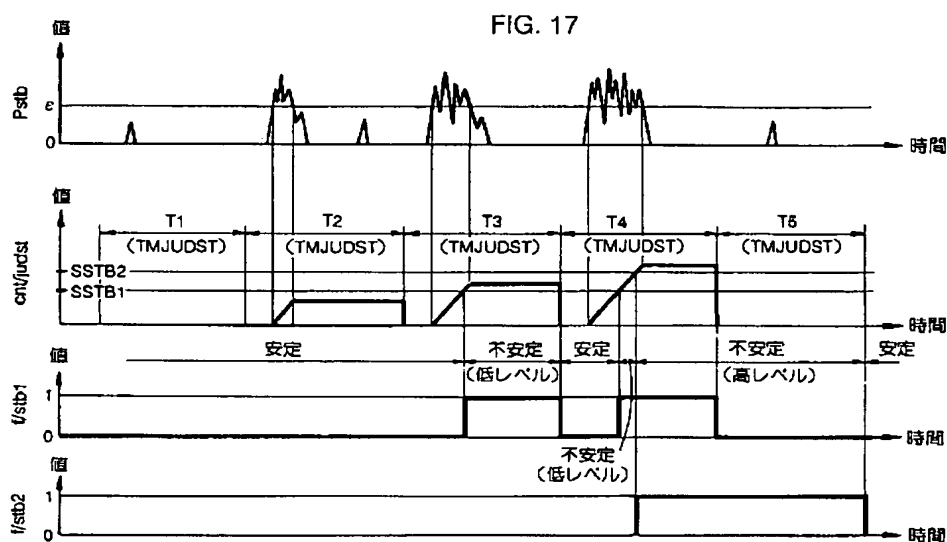
【図13】



【図16】

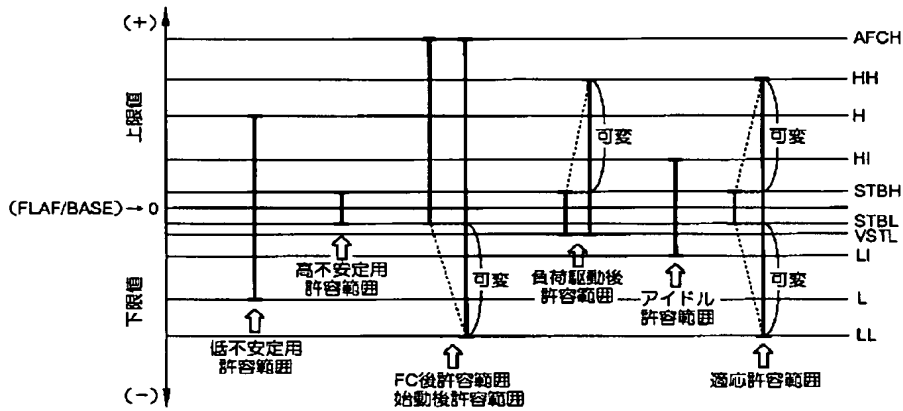


【図17】



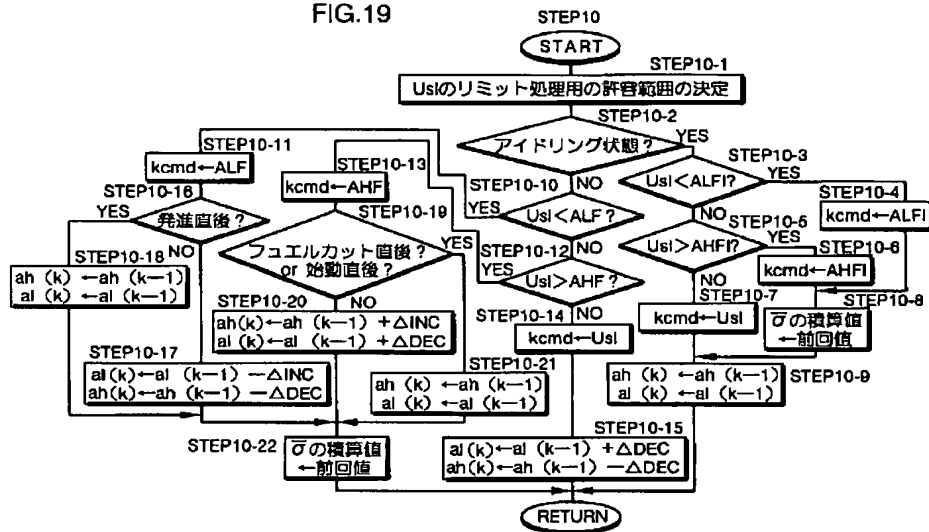
【図18】

FIG. 18



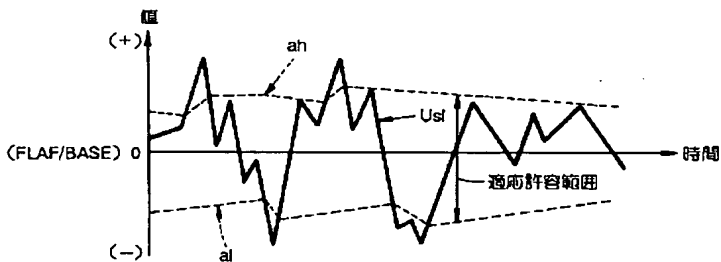
【図19】

FIG. 19



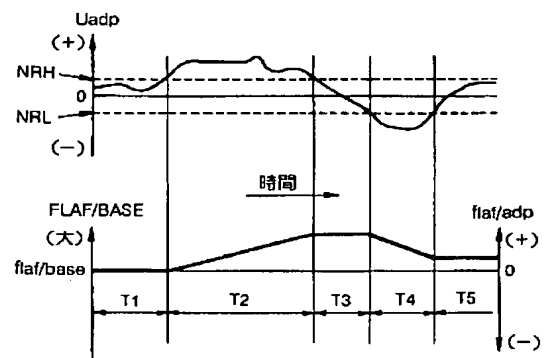
【図21】

FIG. 21



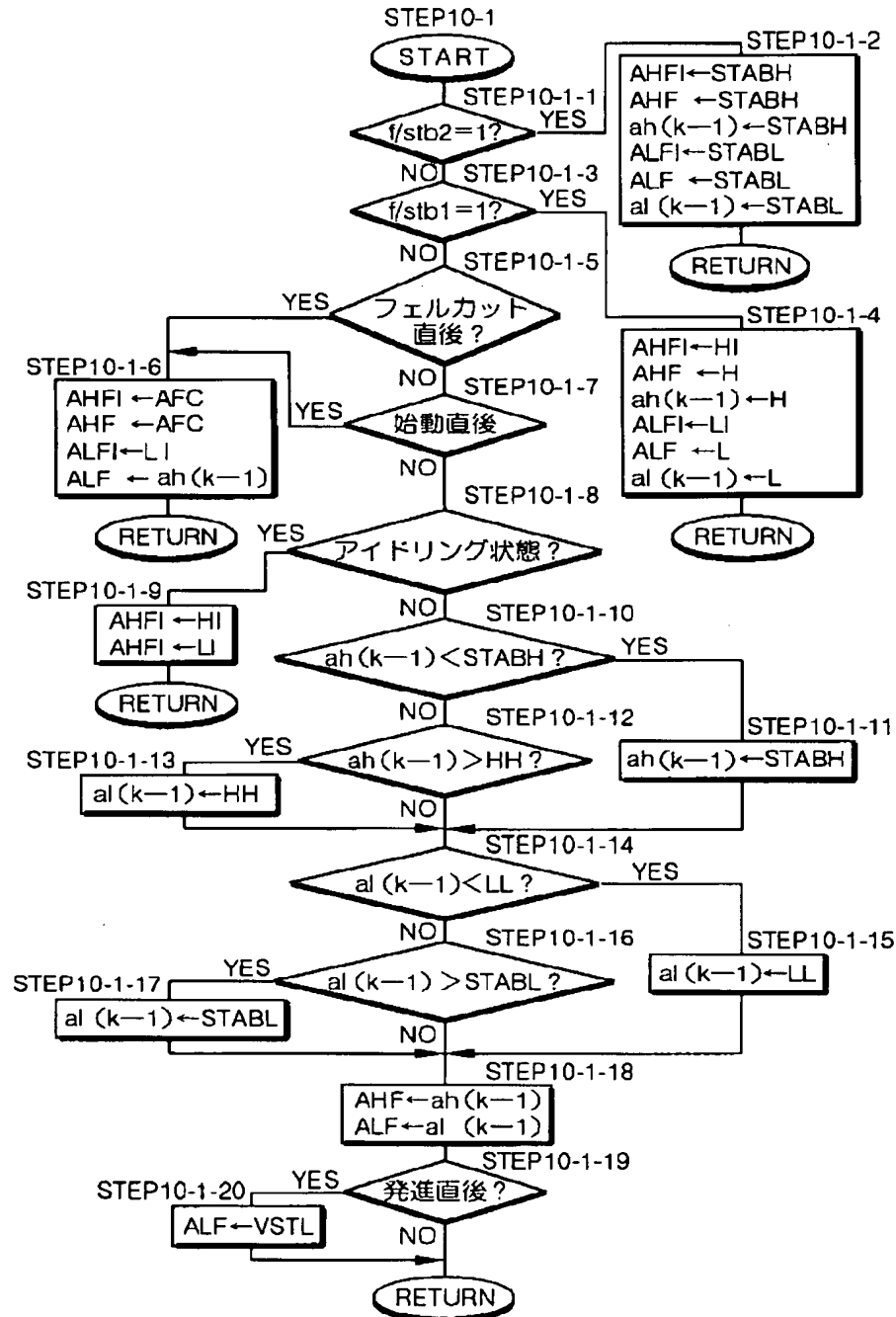
【図26】

FIG. 26



【図20】

FIG.20



【图 25】

FIG. 25
STEP12

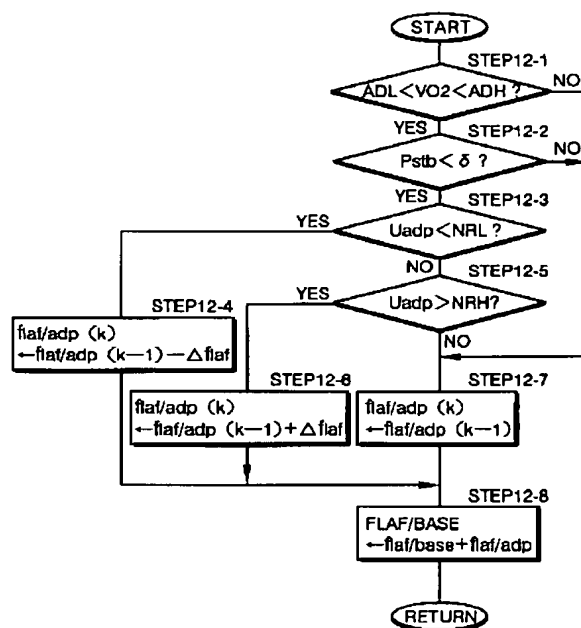


FIG. 23

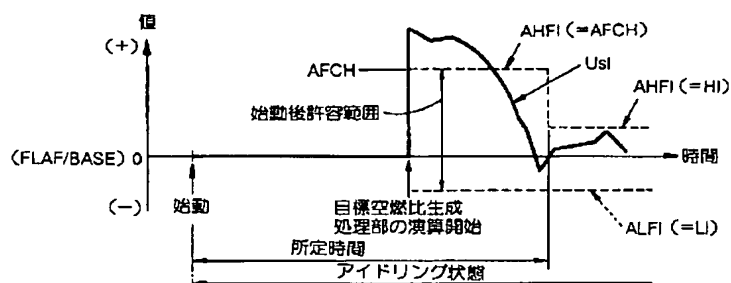
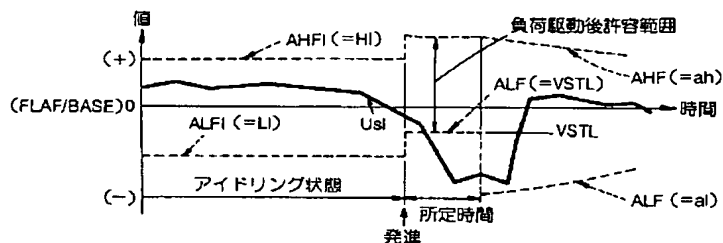
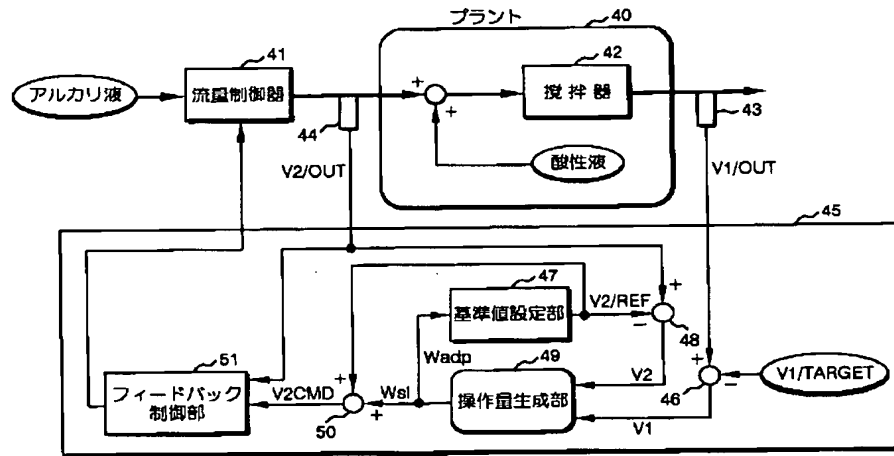


FIG. 24



【図 27】

FIG. 27



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷G 0 5 B 13/02
13/04

識別記号

F I

G 0 5 B 13/02
13/04

テーマコード(参考)

D

(72)発明者 佐藤 忠
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72)発明者 上野 将樹
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72)発明者 岩城 喜久
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

F ターム(参考) 3G084 CA01 CA03 DA05 DA07 EA05
EA07 EA11 EB12 EB25 EC01
EC04 FA07 FA11 FA13 FA30
FA33 FA35

3G301 JA03 JA20 KA01 KA07 KA26
KB01 MA01 MA11 MA24 NA01
NA04 NA08 NA09 NB02 NB03
NC02 ND02 ND42 NE18 NE20
NE23 PA01Z PA07Z PA11Z
PB03Z PD01Z PD08Z PE01Z
PE09Z PF01Z PF16Z

5H004 GA04 GA05 GA07 GB12 HA04
HA13 HB01 HB02 HB04 JA01
JA13 JA17 JB08 JB16 JB18
JB21 KA32 KA33 KA38 KA44
KA54 KA62 KA74 KB02 KB04
KB06 KB27 KB33 KB37 KB39
KC17 KC26 KC27 KC35 KC38
KC45 KD70 LA03 LA12 LB06
LB10 MA02 MA12 MA19

9A001 FF01 HH34 KK32